



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA FECHA DE CORTE Y EL USO DE
ADITIVOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ENSILADO DE
SORGO”**

TESIS

Que para obtener el título de:
Médico Veterinario Zootecnista

PRESENTA:

Alejandro Adelaido Morales Cruz

ASESORES:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

Dr. Joaquín Castro Montoya

Dra. Aurora Sainz Ramírez

REVISORES:

Dr. Ernesto Morales Almaraz

Dr. Juan Edrei Sánchez Torres



Toluca de Lerdo, México, Noviembre de 2023

RESUMEN

En la actualidad, es necesario encontrar alternativas para la alimentación del ganado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE), dichas estrategias se deben adaptar al cambio climático y de los ciclos hídricos de las regiones del país; una opción viable que cumple estas premisas es el sorgo. El sorgo es una poácea anual con gran adaptabilidad a distintos climas, además de tener la capacidad de detener su crecimiento cuando la cantidad de humedad en el ambiente no es la idónea para la planta y retomarlo cuando las condiciones son favorables.

Uno de los mejores métodos para conservar el forraje es el ensilado, que permite preservar el forraje húmedo con mínima pérdida de calidad y palatabilidad. En el presente trabajo, se evaluó la composición química del ensilado de sorgo suplementado con aditivos, inóculo bacteriano y urea, y en distintas fechas de corte, etapa fenológica 7, 8 y 9, con diferente contenido de materia seca.

El sorgo fue sembrado en junio de 2022, fue fertilizado con 160 kg de fosfato diamónico (DAP) y 80 kg de cloruro de potasio por hectárea, en el municipio de Aculco, Estado de México. Los micro silos se realizaron en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Durante la elaboración se usaron aditivos, inóculo bacteriano y urea, además del grupo control. Se conservaron durante 95 días hasta su apertura, posteriormente, se realizaron pruebas de laboratorio para obtener su composición química: contenido de materia seca, pH, proteína cruda, materia orgánica, fibra detergente ácido (FDN), fibra detergente neutro (FDN) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO).

Se encontró un efecto en la interacción ($P < 0.05$) entre el uso de aditivos y la fecha de corte en las variables de: pH, producción de efluentes, perdidas por efluentes, contenido de materia orgánica, contenido de fibra detergente ácido. Los aditivos usados tuvieron un efecto positivo en la composición química del ensilado de sorgo, sin embargo, no contribuyen de manera importante a esta. El segundo periodo de corte, etapa 8, se sugiere como opción viable para la elaboración de ensilados en el futuro.

ÍNDICE GENERAL

I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
1. Cambio climático	3
2. Sistemas de producción de leche en México	4
2.1. Sistemas de producción de leche a pequeña escala en México	5
2.1.1. Alimentos del ganado en sistemas de producción de leche a pequeña escala.....	7
3. Sorgo.....	7
4. Ensilaje.....	10
4.1. Proceso de ensilaje	10
4.2. Fermentación.....	13
4.3. Uso de aditivos	13
III.- JUSTIFICACIÓN	15
IV.- PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
V.- HIPÓTESIS.....	17
VI.- OBJETIVOS.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos específicos.....	18
VII.- MATERIAL.....	19
VIII.- MÉTODO	20
IX.- LÍMITE DE ESPACIO	23
X.- LÍMITE DE TIEMPO	24
XI.- RESULTADOS	25
XII.- DISCUSIÓN.....	32
XIII.- CONCLUSIONES	35
XIV.- SUGERENCIAS	36
XV.- LITERATURA CITADA.....	37

I.- INTRODUCCIÓN

México cuenta con una amplia diversidad de sistemas de producción lechera, uno de los más extendidos son los sistemas de producción de leche en pequeña escala; este sistema se caracteriza, entre otras cosas, por combinar el sistema agrícola, obteniendo la primordial fuerza de trabajo y recursos humanos del esquema familiar (Ojeda *et al.*, 2016), sin embargo, la supervivencia de estos sistemas se ve comprometida por la disponibilidad de forrajes.

Entre los posibles efectos que se atribuyen al cambio climático se encuentran el incremento o decremento de la temperatura y alteraciones en el patrón de lluvias, que resultan en condiciones climáticas adversas para algunos cultivos (Ruiz-Corral, 2016).

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es una poácea anual, de origen africano y tropical, que a través de los años se ha seleccionado genéticamente para poder adaptarse a una gran diversidad de climas. Se encuentra en la lista de cultivos mundiales para la seguridad alimentaria (Carrasco *et al.*, 2011). La capacidad de adaptación del sorgo ha sido probada en climas cálidos, áridos y semiáridos; cuenta con una capacidad de resistir las sequías durante un tiempo y retomar el crecimiento cuando la humedad vuelva a estar presente en el suelo (SAGARPA, 2017) además de reportar un menor consumo de agua en comparación a otros cultivos como el maíz (Carrasco *et al.*, 2011).

Los sistemas de producción lechera a pequeña escala, dependen directamente de la producción de granos y forrajes, como de la compra de insumos para cubrir las necesidades nutricionales de los animales en las diferentes etapas, sin embargo, la compra de estos insumos incrementa los costos de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007). El uso de forrajes conservados a través del ensilaje es una opción viable para ofrecer forrajes de calidad durante todo el año (Arriaga-Jordán *et al.*, 2001).

En el presente trabajo, se evaluó la composición química del ensilado de sorgo, a través de la elaboración de silos de laboratorio (micro silos), el forraje fue cosechado, picado y ensilado con diferentes etapas fenológicas, y se usaron diferentes aditivos durante el proceso.

II.- REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. Cambio climático

El cambio climático se define como toda alteración de importancia en el sistema climático del planeta, con durabilidad mayor a una década. El calentamiento global es la manifestación mayor de este fenómeno, y se refiere al incremento promedio de las temperaturas en diversas regiones del mundo. En los últimos 30 años la superficie terrestre se ha vuelto cada vez más cálida, modificando también la temporada y la cantidad de lluvias (IPCC, 2014).

México se ha comprometido a trabajar en estrategias para frenar el Cambio climático, dentro de las cuales incluyen formar parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) y el Protocolo de Kioto (1997). En el 2007, se creó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), que tiene como objetivos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e impulsar medidas de adaptación al cambio climático (SAGARPA, 2012).

México presenta una elevada vulnerabilidad a los posibles efectos del cambio climático, afectando especialmente a las zonas norte y sur con sequías e inundaciones respectivamente (INE-PNUD, 2008). Se estima que entre un 50% y un 57% del territorio nacional sufrirá cambios en cuanto a temperatura y precipitación. De modo que las condiciones climáticas actuales pueden cambiar su clasificación (SAGARPA, 2012).

Por causa del cambio climático la alteración de los elementos del ciclo hídrico, principalmente la transpiración y la precipitación, provocará un efecto drástico en las demandas de riego para cultivos (Ojeda et al., 2011). La disponibilidad de agua para la agricultura en México se satisface mediante sistemas de riego o temporal; siendo estas últimas las más sensibles a variaciones en la precipitación (SAGARPA, 2012).

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF), declara que largos periodos de sequía y el aumento gradual de la temperatura, de la mano con otros fenómenos derivados del calentamiento global, creará escenarios positivos para el aumento de plagas y enfermedades en animales y plantas, lo que incrementará la posibilidad de que afecten los cultivos (SAGARPA, 2012).

Se tienen estimaciones de que los estados del país que resentirán los mayores incrementos en la temperatura promedio, que pueden llegar a modificar las actividades humanas, incluidas las agrícolas son los siguientes: Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz (SAGARPA, 2012).

2. Sistemas de producción de leche en México

En México la producción lechera se clasifica tradicionalmente en tres sistemas importantes; gran escala localizada en el norte y centro del país, lechería tropical ubicada en las zonas costeras y pequeña escala situada principalmente en el centro del país (Hemme et al., 2014).

En el sistema a gran escala o especializado se usan razas especializadas como Holstein o Jersey, de alta capacidad productora. Son unidades con alto nivel de tecnificación donde se estima que contribuyen con el 50% de producción en México. Además, el ganado se encuentra mayormente en estabulación. Geográficamente se ubican en estados donde la altitud es variable, y el clima va de templado, semi árido y árido dentro del centro y norte del país, tales como Durango, Guanajuato, Jalisco, Coahuila, Aguascalientes, Chihuahua, Estado de México, San Luis potosí, Hidalgo, Baja California y Querétaro (Odermatt et al., 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

En la lechería tropical, también llamado sistema doble propósito, las razas que comúnmente se encuentran son las cebuinas, y las cruzas con ganado especializado. La estimación que se tiene es que en este sistema genera el 9% de la producción nacional de leche. Por lo regular, el ganado se encuentra en potrero, resguardándolo durante la noche, el pastoreo es la base de la alimentación y

mínimamente se suplementa con alimentos balanceados. Lo podemos encontrar en zonas donde el clima es semi árido, templado y tropical húmedo, en la región centro, la costa del Golfo de México, la costa del océano Pacífico y sureste de México en estados como: Chiapas, Veracruz, Nayarit, Tabasco, Guerrero, Jalisco, Tamaulipas y San Luis Potosí (Odermatt et al., 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

En el sistema de producción de leche a pequeña escala (SPLPE) se hace uso de razas como Holstein, Pardo Suizo, Jersey y sus cruces. La tecnificación es baja, y la producción lechera se destina, por lo regular, a satisfacer las necesidades de pequeñas comunidades, autoconsumo y el procesamiento de productos lácteos tradicionales y regionales. Se localizan principalmente en zonas con clima templado en la región centro del país, tales como el Estado de México, Jalisco, Hidalgo, Michoacán y Sonora; en menor medida en Aguascalientes, Baja California, Ciudad de México, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Durango (Odermatt et al., 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

2.1. Sistemas de producción de leche a pequeña escala en México

Según la FAO (2013) la producción de leche en sistemas a pequeña escala contribuye a los medios de vida, la alimentación de los hogares y la seguridad alimentaria; además de ser una manera de generar ingresos económicos para los productores y su comunidad.

Una de las limitaciones que tiene este sistema es la poca calidad de los recursos forrajeros, enfermedades del ganado, el limitado acceso a los mercados y el bajo potencial genético de los animales (FAO y FEPALE, 2012). Sin embargo, se considera que este sistema de producción es un instrumento factible para provocar el crecimiento económico y bajar los índices de pobreza en comunidades rurales (Bennet et al., 2006).

En México, el 79% de las unidades de producción son a pequeña escala, y dependen en gran medida de insumos externos, lo que genera altos costos en la alimentación del ganado (ECLAC, FAO y IICA, 2015).

Los sistemas de producción lechera a pequeña escala se localizan principalmente en la parte del altiplano central de nuestro país, además, una de sus principales características es implicar a algunos miembros de la familia, obteniendo fuerza de trabajo. El número de cabezas por hatos puede oscilar entre 3 y 35 animales, sin considerar los reemplazos; así como la producción media que va de los 15 a los 19 kg de leche/vaca/día. Los SPLPE cimientan la alimentación de los animales en la producción interna de recursos forrajeros y granos; sin embargo, están condicionados a la compra de insumos para poder cubrir los requerimientos de los animales (Espinoza-Ortega et al., 2007; Prospero- Bernal et al., 2017).

Se tienen que usar estrategias de alimentación con base en los recursos con los que cuenta la localidad, que además no compitan con la alimentación humana. Emplear estos insumos tiene consecuencias positivas en diversos ámbitos; ambientales, sociales y económicas, ya que se podría disminuir la huella de carbono, apoyar la economía local y preservar los conocimientos tácitos locales (Rao et al., Wynn et al., 2019).

Para la subsistencia de las unidades de SPLPE se requiere que se tenga un retorno de ingresos de manera rentable. Tener los insumos disponibles para la alimentación del ganado afecta de manera directa los ingresos de las unidades de producción lechera. En las unidades de producción lechera a pequeña escala, la alimentación del ganado representa el 70% de los costos de producción (Espinoza-Ortega et al., 2007). Una de las alternativas para disminuir los costos de producción es el uso de forrajes durante todo el año, con métodos de conservación como el ensilaje o el henificado (Arriaga-Jordán et al., 2001; Martínez-Fernández et al., 2015).

2.1.1. Alimentos del ganado en sistemas de producción de leche a pequeña escala

Una de las características de los sistemas a pequeña escala, es que dependen de los granos y forrajes que pueda producir la unidad para alimentar el ganado, complementando con insumos externos (Espinoza-Ortega et al., 2007). Dichos forrajes se pueden cortar cuando sean abundantes y se encuentren en condiciones nutricionales óptimas para después conservarse para los momentos de carestía, siendo el ensilaje el que conserva mejor condición que el henificado (Prospero-Bernal et al., 2017).

El ensilaje permite al productor preservar los forrajes con una ligera pérdida de materia seca y de nutrientes; además de mantener una alta palatabilidad para el ganado. Esto se debe a que el forraje compactado mantiene un ambiente anaerobio, lo que genera una serie de reacciones bioquímicas en él, que da como resultado la conservación del mismo (Garcés Molina, 2004).

3. Sorgo

Es una planta, de la familia de las poáceas, procedente del continente africano. Que a través de años de selección genética se ha podido adaptar a una gran variedad de climas (Carrasco *et al.*, 2011). Los granos del sorgo son redondos, alrededor de 3 mm de diámetro y de colores negro, rojo o amarillo (SAGARPA, 2017). El proceso de adaptación le permite crecer de manera favorable en condiciones áridas, semi áridas o templadas; además de tener la capacidad de detener su crecimiento si el suelo no cuenta con las condiciones de humedad óptimas, y retomarlo después (Carrasco *et al.*, 2011).

En México, el cultivo de sorgo es utilizado de manera creciente como fuente de forraje para el ganado (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2021). En el año 2021 la producción nacional de sorgo forrajero fue de 4, 176, 964.7 toneladas, siendo el mayor productor de esta variedad el estado de Coahuila con 804, 842.28 toneladas; en el Estado de México se produjeron 4, 166.89 toneladas (SIAP, 2021).

Las partes del sorgo son:

- Tallo: Es de forma cilíndrica, erecto con presencia de nudos propios de las poáceas.
- Hojas: Son de formas lanceoladas, alrededor de 60 cm de longitud y un rango de 1 a 7 cm de ancho.
- Inflorescencia terminal: se presenta en forma de panícula compacta entre los 10 y 20 cm de largo.

De acuerdo con Carrasco *et al.* (2011) el crecimiento del sorgo se divide en 10 etapas, a continuación, descritas:

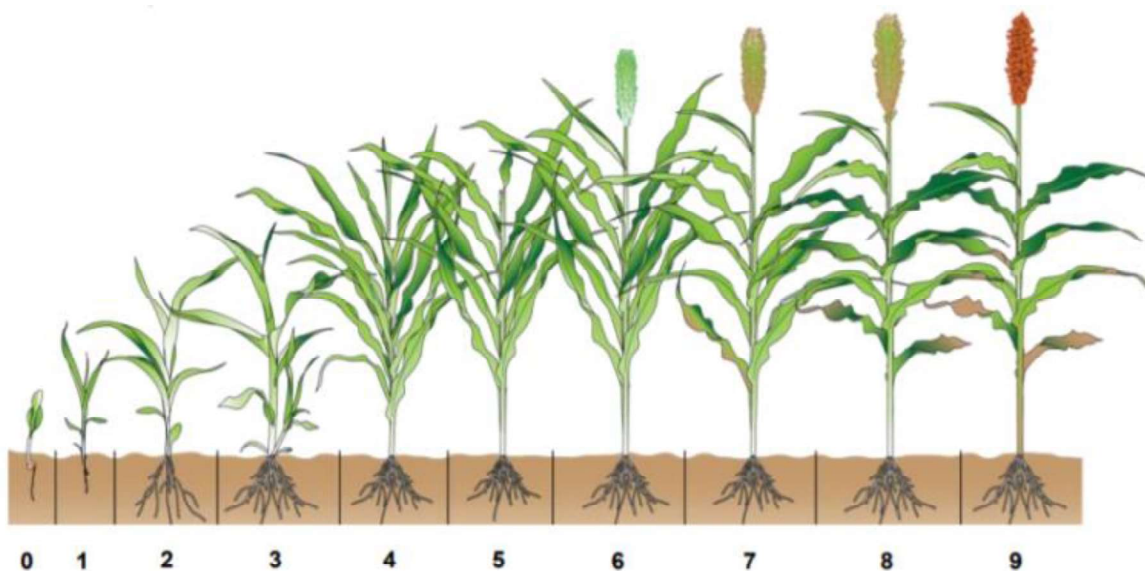


Figura 1. Crecimiento del sorgo en sus diferentes etapas. Fuente: Manual del Sorgo

Etapa 0 o Emergencia: se da cuando el coleótilo brota sobre la superficie del suelo, se da de 3 a 10 días después de sembrado.

Etapa 1 o Estado de tres hojas: en este estado, las lígulas de tres hojas se pueden ver, pasa alrededor de 10 días después de la emergencia.

Etapa 2 o Estado de las cinco hojas: aquí, se pueden ver lígulas de 5 hojas sin tener que romper la planta; sucede aproximadamente tres semanas después del brote.

Etapa 3 o Diferenciación del punto de crecimiento: lo que sucede en esta etapa es que el punto de crecimiento de la planta cambia de vegetativo a reproductivo, ocurre cuando la planta tiene un 5% de su crecimiento total. Sucede aproximadamente a los 30 días del brote, o bien cuando se haya alcanzado un tercio del ciclo de vida.

Etapa 4 o Última hoja visible: en esta etapa, casi todas las hojas de la planta se han expandido, alcanzando el 81% del área foliar. Por lo regular las últimas 2 a 5 hojas inferiores se pierden.

Etapa 5 o Panoja embuchada: todas las hojas de la planta se han extendido totalmente, lo que representa que se han alcanzado el total de área foliar y captación de luz. La panoja se puede encontrar embuchada en una vaina de la hoja bandera, con su tamaño casi determinado.

Etapa 6 o Mitad de la floración: se determina cuando las plantas están al 50% de la floración, la cual se nota en la parte superior de la panoja y avanza de 4 a 9 días.

Etapa 7 o Grano pastoso: el grano al apretarse se nota una consistencia pastosa y el llenado de granos se da rápidamente.

Etapa 8 o Grano duro: durante este estado se alcanza el 75% del peso seco total del grano.

Etapa 9 o Madurez fisiológica: en los granos se forma un punto oscuro, y se alcanza el máximo peso seco de la planta.

4. Ensilaje

El ensilaje es un proceso que consiste en favorecer la fermentación de los carbohidratos solubles del material vegetal por medio de bacterias ácido lácticas en un medio anaeróbico. El resultado es la conservación del forraje, a través de la acidificación sin afectar negativamente la calidad nutritiva del mismo. Se puede o no usar aditivos durante el proceso para ayudar al mantenimiento de la calidad del producto final. Como resultado se obtiene un forraje con un mínimo de pérdidas de materias seca y de nutrientes, manteniendo una buena palatabilidad para el ganado (Garcés Molina, 2004).

Es importante considerar que:

- Es necesario que el contenido nutricional del forraje sea óptimo, para poder obtener resultados favorables en la producción de leche, y mantener un costo bajo de alimentación.
- Solo es posible mantener la calidad inicial del forraje, no mejorarla.
- A pesar de que la fermentación del forraje se haya llevado a cabo correctamente; es recomendable consumirlo antes de un año después de cerrarlo.
- Los métodos y tecnologías disponibles para la conservación de forrajes húmedos permiten que se les consideren en balances de raciones de alta calidad para el ganado.

4.1. Proceso de ensilaje

El proceso para la realización de ensilado de forrajes se divide en 6 pasos principales (Martínez-Fernández, 2015):

- 1) Corte y picado de forraje:
- 2) Transporte.
- 3) Descarga.
- 4) Acondicionamiento del forraje en el silo y aplicación de aditivos.

- 5) Compactado con tractor.
- 6) Cierre del silo.

Garcés Molina (2004) menciona que el proceso que se lleva a cabo una vez tapado el silo puede dividirse en cuatro etapas:

1. Etapa aeróbica: dura pocas horas, el oxígeno se termina por la respiración de organismos facultativos (levaduras y bacterias). Hay actividades de varias enzimas como proteasas y carbohidrasas, si el pH se mantiene en rango para el forraje fresco (pH 6.5-5.0).

Las levaduras son microorganismos anaerobios facultativos y heterótrofos indeseables en el ensilaje porque en ambientes anaerobios fermentan azúcares produciendo etanol y CO². La producción de etanol disminuye la disponibilidad de azúcar para generar ácido láctico; además de generar un mal sabor en la leche cuando se usa como forraje de vacas lecheras.

2. Etapa de fermentación: inicia al generarse un ambiente anaerobio. Su duración depende de las características del material ensilado, y de las condiciones ambientales en el momento del ensilaje. Con el proceso de fermentación exitoso se desarrolla la actividad BAC, bacterias de ácido láctico (Oude-Elferink, 2001) y se volverá la población dominante. A causa de la generación de ácido láctico y otros ácidos el pH baja a valores entre 3.8 y 5.0.

Las bacterias que producen ácido láctico pertenecen a la biota de vegetales. Los componentes BAC (bacterias que pueden producir ácido láctico) se asocian con el proceso de ensilaje pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, y *Streptococcus*. La mayoría crecen entre 5°C y 50°C, es decir, son mesófilos. Tienen capacidad de acidificar el pH del forraje a valores entre 4 y 5 (Oude-Elferink, 2001).

Algunas de las condiciones que influyen sobre la competencia entre las BAC contra las enterobacterias dañinas para el proceso de ensilaje son: contenido

de azúcar del cultivo, contenido de materia seca y composición de los azúcares; así como la tolerancia a condiciones ácidas o de presión osmótica.

3. Etapa estable: la mayoría de microorganismos reducen su población; sobreviven microorganismos acidófilos en estado inactivo; los clostridios y algunos bacilos sobreviven como esporas.

Solo algunas proteasas, carbohidrasas y microorganismos especializados siguen activos con un ritmo menor debido al ambiente ácido. Si este ambiente se mantiene ocurren pocos cambios.

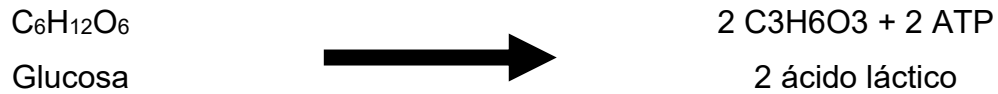
Durante la fase las bacterias indeseables son: bacterias acidófilas y aerobias: tales como *Acetobacter* spp. y el género *Clostridium*.

4. Etapa de deterioro anaerobio: acontece en todos los ensilados al ser abiertos y expuestos al aire, para su empleo, o bien, puede suceder antes por daños en la cubierta (por ejemplo: rupturas del plástico). Este periodo se puede fragmentar en dos fases; la primera se debe al inicio de la degradación de ácidos orgánicos que conserva el ensilaje por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto permite el inicio de la segunda fase; en ella se da aumento de la temperatura y en la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje: los bacilos, mohos y enterobacterias.

Los mohos son organismos aerobios cuya presencia se advierte por la aparición de filamentos de diferentes colores, de acuerdo a la especie. Los mohos afectan de manera negativa el valor nutritivo, la palatabilidad del ensilaje y representa un riesgo para la salud de los animales que lo consuman y humanos.

4.2. Fermentación

Es una reacción de oxidación-reducción balanceada, en la cual algunos átomos de la fuente de energía quedan reducidos y otros quedan oxidados. La mayor parte de la energía permanece en el producto de la fermentación reducida.



La energía liberada se conserva por fosforilaciones a nivel del sustrato en forma de enlaces de fosfato de alta energía en el ATP, con una producción neta de dos de esos enlaces en cada caso (Garcés Molina, 2004).

4.3. Uso de aditivos

El uso de aditivos durante el ensilaje tiene como objetivo optimizar la conservación y el valor nutricional de forraje resultante, con ello mejorar la alimentación del ganado. Los aditivos tienen la capacidad de evitar una fermentación deficiente debido a la falta o excesos de azúcares solubles y favorecer el crecimiento de bacterias lácticas. Los daños ocasionados por fallos tales como un mal acondicionamiento del silo, contaminación del forraje o errores al momento del cierre son incorregibles (Martínez-Fernández, 2015).

Existen dos tipos de aditivos según el efecto sobre el forraje; restrictores y estimuladores de la fermentación (McDonald et al., 1991). El mecanismo de acción de los aditivos restrictores es detener las fermentaciones indeseables. Algunos causan una acidez inicial al forraje que beneficia la actividad de bacterias lácticas. Algunos otros tienen un efecto bacteriostático, que no permite la multiplicación de bacterias no deseables y de bacterias lácticas. Lo que provoca que la acidez del forraje sea poca y pueda conservar casi todos los azúcares que contiene. Existen aditivos que pueden causar ambos efectos (Martínez-Fernández, 2015).

Por otra parte, los aditivos estimuladores de la fermentación actúan de las siguientes maneras: por administrar al forraje microorganismos productores de ácido láctico, por efecto de enzimas que al romper las paredes celulares liberan azúcares fermentables y por añadir nutrientes que impulsen la acción de bacterias de fermentación láctica (Martínez-Fernández, 2015). Algunos ejemplos son: inóculos bacterianos (*Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*), enzimas (amilasas, celulasas, hemicelulasas, pectinasas), nutrientes (amonio, urea, carbonato cálcico) (Argamentería et al., 1997).

Los inóculos son bacterias vivas disponibles comercialmente y que pueden acelerar el proceso de ensilaje, cuando la planta tiene un alto contenido de materia seca. El uso de urea origina incrementos en la concentración de solutos, mejoran la estabilidad aeróbica de los ensilajes, el contenido de nitrógeno del producto final, el consumo y la digestibilidad de materia seca y de la energía (Garcés Molina, 2004).

III.- JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de producción lechera a pequeña escala representan una oportunidad de autoempleo, siendo pieza importante en el desarrollo económico de las familias y de las zonas donde se encuentra, sin embargo, tienen la necesidad de producir alimento de calidad para la alimentación del ganado para mejorar su rentabilidad.

Esta necesidad abre la puerta a la investigación, la búsqueda de encontrar una alternativa forrajera de calidad que pueda ser usada en la alimentación de ganado lechero con forrajes que cumplan los requerimientos nutricionales y que además no sean una competencia para la alimentación humana.

El sorgo representa una ventana de oportunidad, el ensilado es una manera de conservar este forraje manteniendo sus nutrientes, palatabilidad y los costos de alimentación, aminorando la compra de insumos en épocas de escasez.

En el Estado de México el cultivo y ensilado de sorgo no es común, sin embargo, puede ser una alternativa viable en la alimentación del ganado. Es por ello, que el interés de este proyecto es realizar pruebas a nivel laboratorio para evaluar el ensilado de sorgo, en distintas edades de la planta y con uso de diferentes aditivos.

IV.- PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Afecta la fecha de corte y el uso de aditivos la composición química del ensilado de sorgo?

V.- HIPÓTESIS

No existe efecto de la fecha de corte y el uso de aditivos sobre la composición química del ensilado de sorgo.

VI.- OBJETIVOS

Objetivo General.

Evaluar el efecto de la fecha de corte y uso de aditivos sobre la composición química del ensilado de sorgo.

Objetivos específicos.

- Evaluar la composición química del ensilado en diferentes estados fenológicos.
- Determinar el efecto del uso de aditivos en el ensilado de sorgo.

VII.- MATERIAL

Material Biológico:

- Sorgo forrajero, variedad Caña Dulce, distribuido por Semillas Berentsen.
- 160 kg de fosfato diamónico (DAP) por hectárea.
- 80 kg de cloruro de potasio por hectárea.
- Herbicida selectivo Callisto (Syngenta) 1 L por hectárea.
- Herbicida no selectivo Faena (Monsanto) 3 L por hectárea.

VIII.- MÉTODO

Elaboración de silos de laboratorio

La elaboración de los silos de laboratorio se realizó siguiendo la metodología descrita por Sainz-Ramírez *et al.* (2020). Se elaboraron un total de 45 silos de laboratorio; divididos en tres fechas de corte 120 días (etapa fenológica 7), 135 días (etapa fenológica 8) y 150 días (etapa fenológica 9) con 5 repeticiones por uso de aditivo, haciendo un total de 15 micro silos por periodo de análisis. Se registró el peso neto del forraje ensilado al momento de su elaboración e inmediatamente después de su apertura a los 95 días.

Uso de aditivos en los micro silos

Del material cosechado en cada fecha de corte, para el experimento, se realizaron tres alícuotas de aproximadamente 15 kg (peso fresco) cada una. De manera manual se aplicaron los siguientes aditivos:

- I. Testigo sin aditivo (Control).
- II. Inoculante (Inoculo) a base de bacterias lácticas homofermentativas *Pediococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum* (Biosile) a dosis recomendada por el fabricante (1×10^5 ufc/g de forraje).
- III. Solución de urea (urea) a una dosis de 0.5% de peso total del forraje.

Análisis químico

Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 55°C por 72 horas para determinar el contenido de materia seca (MS), para a continuación ser molidas en un molino Pulvex y tamizadas en una malla de 1 mm (Elshereef et al, 2020).

Las muestras se analizaron para: cenizas (CN) por incineración a 550°C (AOAC, 1990), proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl ($N \times 6.25$), fibra detergente

neutro (FDN) con adición de alfa-amilasa y fibra detergente ácido (FDA) siguiendo la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991), digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) con Onozuka utilizando un incubador Ankom Daisy II (Ankom Technology, 2005) según Riveros y Argamentaría (1987), el pH del ensilado se determinó con un electrodo de pH.

Se midió el diámetro de las colonias de hongos en centímetros, y se colectaron los mililitros de efluentes producidos. Las pérdidas por efluentes se calcularon con la fórmula que Jobim *et al.* (2007) describen:

-Pérdidas por efluentes (Kg/t Materia húmeda):

$$PE = \frac{P_{ef} \times 1000}{MVi}$$

Donde:

PE= Pérdidas de efluentes.

P_{ef}= Peso del efluente. Peso del conjunto vacío después de la apertura menos el peso del conjunto vacío antes de llenar.

MVi= Cantidad de masa verde (materia húmeda) de forraje ensilado.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con aditivo (Control, Inóculo bacteriano o urea), fecha de corte y su interacción como efecto fijo.

Se realizó con la función aov de R Base.

La ecuación es:

$$Y = \mu + T + S + (T \times S) + \epsilon$$

Donde:

Y= Variable respuesta.

μ = Media General.

T = Efecto del aditivo (Control, Inóculo bacteriano o urea).

S = Efecto de la fecha de corte.

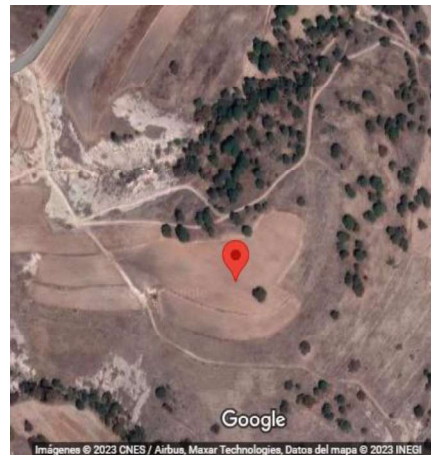
(T x S) = La interacción entre ambas.

ϵ = Error Experimental.

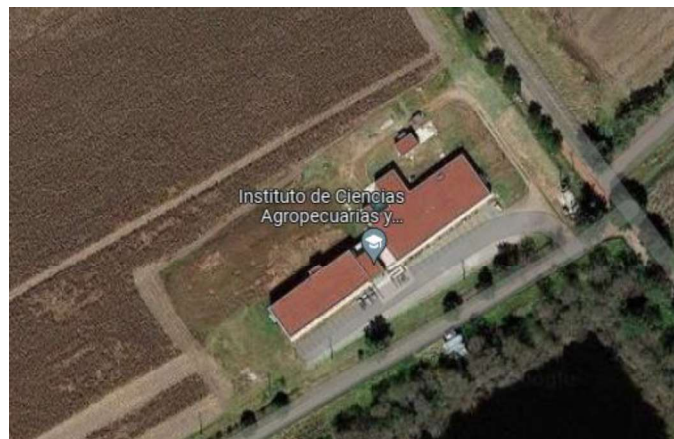
IX.- LÍMITE DE ESPACIO

Localización

El estudio tuvo lugar en la época de lluvias en la unidad de producción de leche en pequeña escala de un productor cooperante de la comunidad de Gunyo, perteneciente al municipio de Aculco (20°07'44.4" Norte, 99°51'10.76" Oeste), con un clima templado subhúmedo, lluvias en verano y una altitud media de 2385 msnm.



La elaboración de los silos de laboratorio (micro silos), se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), ubicado en El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.



X.- LÍMITE DE TIEMPO

Los micro silos se realizaron con intervalos de 15 días de diferencia entre el corte 1 hasta el corte 3, en las siguientes fechas: 20 de octubre de 2022, 04 de noviembre de 2022 y 19 de noviembre de 2022. Los micro silos se mantuvieron en conservación durante 95 días, las fechas de apertura fueron 23 de enero de 2023 el primer periodo, el 7 de febrero de 2023 el segundo y el 22 de febrero el tercero.

El trabajo de laboratorio se realizó en marzo y abril de 2023, en los meses de mayo y junio se llevó a cabo la recopilación y análisis de los datos.

XI.- RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la composición química y digestibilidad *in vitro* de ensilado de sorgo a diferentes fechas de corte y uso de aditivos. Se registró un mayor contenido de materia seca (MS) en el grupo Control de la tercera fecha de corte, mientras que la menor cantidad registrada fue en el primer periodo de cosecha de forraje en el grupo control. La mayor cantidad de materia orgánica fue en el grupo inoculo del segundo periodo de corte de forraje, mientras que la menor se encontró en el grupo urea del tercer periodo. La concentración de proteína cruda fue mayor en el grupo urea del tercer periodo y menor en el grupo inoculo del mismo periodo. El mayor contenido de FDN se encontró en el grupo de urea del tercer periodo, mientras que el grupo inoculo del primer periodo fue el menor. Los resultados de FDA fueron mayores en el grupo de urea del segundo periodo de corte, y menores en grupo de inóculo bacteriano del primer periodo. La DIVMO fue mayor en el grupo de inóculo bacteriano del segundo periodo de cosecha del forraje y menor en el grupo de urea del tercer periodo.

Para los análisis de materia seca se encontró que el valor de ($P < 0.01$) el aditivo aplicado y la fecha de corte ($P < 0.001$). Los resultados obtenidos del análisis de materia orgánica indican que ($P > 0.001$) para la fecha de corte y de la interacción fue ($P < 0.05$). El estadístico mostró que los resultados de proteína cruda, por aditivo resultó ($P < 0.001$) y en la fecha de corte ($P < 0.01$). Los resultados de FDA indican que el aditivo empleado tuvo un efecto de ($P < 0.001$), en la fecha de corte ($P < 0.001$) y en la interacción ($P < 0.05$). Para DIVMO la fecha de corte tuvo un efecto de ($P < 0.001$).

Tabla 1. Composición química y digestibilidad de ensilado de sorgo a diferentes fechas de corte y uso de aditivos.

Variables	Fecha de corte 1		Fecha de corte 2		Fecha de corte 3		EEM		Probabilidad †				
	Inoculo	Urea	Control	Inoculo	Urea	Control	Inoculo	Urea	A	FC	A*FC		
MS	209.35	225.28	206.18	288.71	280.66	257.42	331.20	315.08	309.58	6.94	<0.01	<0.001	0.058
MO	908.22	904.41	903.00	915.39	918.82	917.66	899.30	901.20	902.00	1.15	0.838	<0.001	<0.05
PC	83.15	84.12	109.86	75.03	75.34	108.55	70.92	70.79	110.64	2.60	<0.001	<0.01	0.163
FDN	597.71	566.44	594.31	585.70	598.80	592.85	601.06	595.43	604.36	3.97	0.554	0.365	0.456
FDA	424.19	425.47	426.87	432.08	452.52	460.74	433.72	459.02	446.04	2.56	<0.001	<0.001	<0.05
DIVMO	783.38	775.12	781.43	781.51	790.94	787.63	771.73	768.98	768.30	1.86	0.98	<0.001	0.45

EEM: Error Estándar de la Media. †Probabilidad estadística: A: Efecto del aditivo. FC: Efecto de la fecha de corte.

A*FC: Efecto de la interacción del aditivo con la fecha de corte.

MS: Materia seca. MO: Materia orgánica. PC: Proteína cruda. FDN: Fibra detergente neutro.

FDA: Fibra detergente ácido. DIVMO: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de pH, presencia de hongos y pérdidas por efluentes en ensilado de sorgo a diferentes fechas de corte con uso de aditivos. El valor de pH más alto fue el grupo tratado con urea de la segunda fecha de corte y el que menor pH mostro fue en el tercer periodo de corte en el grupo tratado con urea. La presencia de hongos en los micro silos fue más frecuente en la segunda fecha de corte, sin importar el aditivo empleado mientras que en el primer periodo fue menos frecuente. El diámetro de las colonias de hongos fue mayor en el segundo periodo de corte de forraje. Solo se registraron efluentes y las pérdidas por los mismos en el primer periodo de corte.

En los valores de pH de fecha de corte el valor fue de ($P < 0.01$) y de la interacción ($P < 0.001$) entre aditivo y fecha de corte. La presencia de hongos mostró un valor de ($P < 0.05$) en el aditivo aplicado y en la fecha de corte ($P < 0.001$). El estadístico para la variable de diámetro de las colonias de hongos resultó en una ($P > 0.01$) del aditivo y en la fecha de corte ($P < 0.001$). Los efluentes muestran una ($P < 0.05$) en el aditivo, la fecha de corte ($P < 0.01$) y en la interacción entre ambos ($P < 0.05$). Las pérdidas por efluentes mostraron que el aditivo aplicado tuvo un efecto ($P < 0.05$), mientras que por la fecha de corte fue de ($P < 0.001$) y en la interacción de ($P < 0.05$).

Tabla 2. Resultados de análisis para pH, presencia de hongos y pérdidas por efluentes en ensilado de sorgo a diferentes fechas de corte con uso de aditivos.

Variables	Fecha de corte 1			Fecha de corte 2			Fecha de corte 3			EEM			Probabilidad †		
	Control	Inoculo	Urea	Control	Inoculo	Urea	Control	Inoculo	Urea	A	FC	A*FC	A	FC	A*FC
pH	4.59	3.70	3.70	4.65	3.94	5.80	3.90	4.34	3.68	0.13	0.17	<0.001	<0.01	<0.01	<0.001
Colonia de hongos	0.60	0.00	0.20	1.00	0.80	1.00	1.00	0.80	0.80	0.07	<0.05	<0.001	0.579	<0.001	0.579
Diámetro de los hongos	0.60	0.00	0.40	10.00	3.20	6.00	10.00	7.60	6.40	0.68	<0.01	<0.001	0.109	<0.001	0.109
Efluentes	4.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	<0.05	<0.01	<0.05	<0.01	<0.05
Pérdidas por efluentes	2.09	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	<0.05	<0.01	<0.05	<0.01	<0.05

EEM: Error Estándar de la Media. †Probabilidad estadística: A: Efecto del aditivo. FC: Efecto de la fecha de corte.
A*FC: Efecto de la interacción del aditivo con la fecha de corte.

En la fecha de corte 1, el mayor contenido de materia seca corresponde al tratamiento con Inóculo, el contenido de materia seca del tratamiento Control fue 7.08% menor, mientras que del tratamiento con urea fue 8.48% menor respecto al inoculo.

El pH de la primera fecha de corte, el grupo control está en 4.59 y los otros dos grupos tuvieron 19.39% menos. El tratamiento de Inóculo no presento crecimiento de colonias de hongos, mientras que en el tratamiento con urea tuvo un crecimiento del 20%, el tratamiento control fue el más afectado con la presencia de hongos; el diámetro de las colonias de hongos en el tratamiento con urea fue 33% menor que en el grupo Control. El uso de inoculo en la fecha 1 ocasiono que la presencia de efluentes fuera 78.27% menor en comparación con el tratamiento Control. En el tratamiento con urea no se detectó la producción de efluentes. El tratamiento con Inoculo tuvo 78.47% menos de perdida por efluentes comparadas con el grupo Control.

El contenido de materia orgánica en la fecha de corte 1, fue mayor el tratamiento Control, el Inóculo fue 0.42% menor al control, y el tratamiento con urea 0.58% menor que el control; mientras que la cantidad de proteína cruda fue más alta en el tratamiento con urea, 23.43% menor en el Inóculo y 24.32% menor en el tratamiento control, respecto al tratamiento de urea.

En cuanto al contenido de FDN, el grupo control fue el que presento valores más altos, después los adicionados con Urea con un 0.57% menos, y el Inóculo bacteriano con un 5.24% menos comparado con el control. Para el caso del contenido de FDA el tratamiento de urea fue el que obtuvo los valores más altos, seguidos por el grupo de Inoculo bacteriano con un 0.33% menor, y después el grupo control, con un 0.63% menor con respecto al mayor. Se observó que el tratamiento Control presento la mayor DIVMO, después el tratamiento de urea con un 0.25% menos y al final el tratamiento de Inóculo con 1.06%.

En a fecha de corte 2, se encontró que el tratamiento control tuvo un 2.79% más de MS que el tratamiento con inoculo y 10.84% más que el tratado con urea.

El pH en la fecha de corte dos, fue más alto en el tratamiento con urea, seguido por el tratamiento control y finalmente el tratamiento con inóculo.

La presencia de hongos, en la fecha dos de corte, fue la misma en los tratamientos Control y urea, siendo el grupo de inóculo el que reportó un 20% menos de presencia de hongos. El mayor diámetro de las colonias de hongos se encontró en el grupo Control, el grupo tratado con urea e inóculo tuvieron un diámetro 40% y 68% menores al tratamiento control. No se produjeron efluentes en el segundo periodo de cosecha.

En la segunda fecha de corte, el contenido de materia orgánica el tratamiento de Inóculo fue superior por muy poca diferencia en comparación con el grupo urea que fue 0.13% menor y el grupo Control con un 0.38% menos. Nuevamente el tratamiento con urea presento los valores más altos de proteína cruda, seguido por el tratamiento de inóculo que fue 30.60% menor, y el grupo control con 30.88% menos de PC. Los resultados de FDN muestran que el tratamiento de Inóculo fue el mayor, seguido por el grupo urea siendo 1% menor, y por último el grupo control con 2.19% menos; mientras que en el contenido de FDA el tratamiento de urea fue el más alto, seguido por el de Inóculo siendo 1.73% menor y después el grupo Control, con un 3.77% menos. La DIVMO fue más alta en el grupo Inóculo, seguido por el grupo de urea con 0.42% menos, y al último el grupo Control.

En el tercer periodo de corte, el tratamiento Control fue el grupo con el contenido de MS mayor, seguido del grupo Inóculo y al grupo de urea con una variación cerca de 5% cada uno.

En el tercer periodo de corte, el tratamiento con inóculo registró el pH más alto, después encontramos el grupo control con un resultado 10.14% menor, y al final, el tratamiento de urea con 15.21% menos que el inóculo. La presencia de hongos se dio en todos los grupos, siendo más persistente en el grupo Control con 20% más que en los restantes. No se reportaron efluentes en ningún grupo del tercer periodo. Los resultados de la pérdida de materia seca en el tercer periodo fueron el grupo Control en primer lugar, siendo mayor al grupo de inóculo y al de urea con 6.34% y 6.4% respectivamente.

En la tercera y última fecha de corte, las diferencias entre los resultados de materia orgánica son muy pocas entre tratamientos, de menos del 1%. Una vez más el tratamiento con el valor más alto de proteína fue el de urea, siendo un 35.9% más alto que el tratamiento Control. El contenido de FDN fue mayor en el grupo urea y el tratamiento de inóculo tuvo los valores más bajos. La presencia de FDA fue mayor en el tratamiento con inóculo, después el tratado con urea con 2.83% menor y el grupo control con 5.52% menos en comparación con el grupo de inóculo. La DIVMO fue mayor en el grupo Control, seguida del inóculo y al final el tratamiento con urea.

XII.- DISCUSIÓN

Colombini *et al.* (2012) reportan en Italia que a los 118 días de edad de la planta se ensiló sorgo variedad Sweet Creek, sin el uso de aditivos, obteniendo valores mayores de materia seca, 290 g/kg. Dos Anjos *et al.* (2018) en Brasil, sembraron sorgo a 732 msnm y lo ensilaron sin aditivos cuando el grano estuvo lechoso masoso (Etapa 7), obtuvieron un valor de 263.9 g/kg de materia seca, el ensilado adicionado con inóculo bacteriano resultó con 245.8 mg/kg de materia seca. Yang *et al.* (2019) realizaron un trabajo en los Estados Unidos de América donde reportan los resultados de un ensilado de sorgo sin uso de aditivos con un valor de materia seca de 329 g/kg; en una fecha de corte similar a la primera fecha de corte de este trabajo, el ensilado sin aditivo obtuvo 209.35 g/kg de materia seca. Esto se pudo deber a que el crecimiento del sorgo en Aculco (2385 msnm) fue más lento por la cantidad de lluvia que hubo en esos meses (383 mm de lluvia), SAGARPA (2008) indica que los requerimientos de la planta son de 450 a 650 mm por ciclo, con mayor importancia en la Etapa 7. Por esta razón, la fecha de corte del forraje tuvo un efecto estadístico.

Los resultados obtenidos de materia orgánica son menores a los reportados en otros trabajos; en Italia, Colombini *et al.* (2012) reportaron 941 g/kg MS, Dos Anjos *et al.* (2018) obtuvieron en el ensilado sin aditivos 958.2 g/kg MS y en forraje tratado con inóculo bacteriano 953.4 g/kg MS.

La cantidad de proteína cruda que se reporta en los micro silos de sorgo fue menor a la que se reportan en experimentos similares, Colombini *et al.* (2012) reportaron 123 g/kg MS de proteína sin el uso de aditivos. El uso de inóculo bacteriano también fue menor en comparación a lo reportado por Dos Anjos *et al.* (2018) en Brasil, donde se obtuvo como resultado 84.6 g/kg MS. Conforme avanza la edad del sorgo menor cantidad de proteína tienen los grupos de inóculo bacteriano y el grupo control; esto podría deberse a la lignificación del forraje (Bach *et al.*, 2006), el ensilado adicionado con urea obtuvo valores mayores en las tres fechas de corte.

Los resultados obtenidos de FDN son menores a los que reportó Dos Anjos *et al.*, 2018 en Brasil, que son 600.7 g/kg MS en ensilado de sorgo sin aditivos y 634.0

g/kg MS en ensilado con uso de inóculo bacteriano. Los únicos resultados similares a estos datos, son los del grupo control y el adicionado con urea de la tercera fecha de corte. Todos los datos son menores a los que registraron Kljak *et al.*, 2017 en Estados Unidos de América, que es 629.5 g/kg MS. Comparados con el resultado del experimento de Yang *et al.*, 2019, donde reportan una FDN de 490 g/kg MS, todos los valores son mayores. La cantidad de FDN reportada es coincidente con lo que Sainz-Ramírez *et al.* (2023) reportaron en ensilados de haba con inclusión de aditivos.

Los resultados de FDA son mayores a los que Dos Anjos *et al.* (2018) obtuvieron en el ensilado sin aditivos (337.9 g/kg MS) y en el que se usó inóculo bacteriano (325.4 g/kg MS). Los datos que reportaron Sainz-Ramírez *et al.* (2020) acerca del FDA en ensilado de girasol son menores a los que se encontraron en los micro silos de sorgo.

Los datos aquí reportados de DIVMO fueron mayores a los valores que obtuvieron Dos Anjos *et al.* (2018) donde el ensilado de sorgo sin aditivos tuvo una digestibilidad de 636.8 g/kg MS. La digestibilidad suele verse afectada por el contenido de fibras, mismas que incrementan con el desarrollo fenológico de las plantas; el uso de algunos aditivos como los ácidos orgánicos y la urea pueden tener efectos fibrolíticos, sin embargo, en los resultados del presente trabajo los posibles efectos atribuidos al uso de aditivos no se apreciaron y la única variable que ejerció un efecto fue la fecha de corte.

Colombini *et al.* (2012) reportó un pH de 3.9 en el ensilado de sorgo sin aditivos en un experimento llevado a cabo en Italia. En Brasil, Dos Anjos *et al.* (2018) obtuvo como resultado en un ensilado de sorgo sin aditivos un pH de 3.94, mientras que en el ensilado en el que se usó inóculo bacteriano fue de 4.05 de pH. Sainz-Ramírez *et al.* (2020) en España, en un experimento de micro silos de girasol donde se ensayaron dos aditivos, entre ellos el inóculo bacteriano, donde demostró que el pH del ensilado adicionado con este es de 3.77, y el grupo testigo sin aditivos fue de 3.8. En el 2023, Sainz-Ramírez *et al.* comprobaron que el ensilado de haba adicionado con inóculo bacteriano tiene un pH de 3.75, mientras que el grupo control

fue de 3.58. En 1969, González Padilla *et al.* reportaron un pH de 4.3 en ensilado de maíz adicionado con urea al 0.5% del peso total del forraje. El pH de los micro silos que se realizaron fue de 4.59 en el grupo control, mayor a los mencionados anteriormente, y los adicionados con inóculo bacteriano y urea fueron de 3.7, menor al reportado por Dos Anjos *et al.*, (2018) se observa el efecto estabilizador de los aditivos. El ensilado adicionado con inóculo bacteriano eleva el valor del pH conforme avanza la edad del forraje a la cosecha; esto puede explicarse por la lignificación del forraje, ya que la lignina ejerce impedimentos físicos para que las bacterias alcancen todas las partes de la fibra (Bach *et al.*, 2006). El valor del pH del ensilado de girasol y de haba son similares a los obtenidos en el ensilado de sorgo. El forraje adicionado con urea en la primera y en la tercera fecha de corte muestran un valor de pH óptimo para el ensilado (Oude-Elferink *et al.*, 2001).

La presencia y el diámetro de los hongos se debe a diversos factores, como la temperatura, humedad, pH, condiciones del forraje incluso algunos hongos pueden infestar los granos en diversas etapas de la planta en el campo, otra causa es la presencia de oxígeno en el ensilado (Mionetto-Cabrera, 2017). Entre más materia seca tenga el forraje al avanzar la edad del mismo, el compactado se hace más complicado, y existe la probabilidad de que haya presencia de oxígeno, lo que podría favorecer el crecimiento de las colonias de hongos (Martínez-Fernández, 2015).

La presencia de efluentes y la pérdida ocasionada por estos es frecuente en los forrajes con alto contenido de humedad, pueden perder de un 8% a un 25% de efluentes. El uso de aditivos podría llegar a ocasionar modificaciones en la capacidad de retener agua. (Sainz-Ramírez *et al.*, 2023). La mayor la producción de efluentes se presentó en la primera fecha de corte, en el grupo control y en el adicionado con Inóculo bacteriano, atribuido a la presencia de un menor contenido de lignina en forrajes jóvenes (Bach *et al.*, 2006).

XIII.- CONCLUSIONES

La fecha de corte y el uso de aditivos en el ensilado de sorgo tuvieron un efecto significativo en la composición química. Especialmente en el pH, en la creación de efluentes, las pérdidas ocasionadas por estos, la materia orgánica y la fibra detergente ácida (FDA).

El efecto causado por el uso de aditivos se reflejó en la composición química de los micro silos, principalmente en el contenido de materia seca, proteína cruda y fibra detergente ácido; por lo que se recomienda realizar evaluaciones en campo e *in vivo*. Además, el uso de aditivos tuvo un efecto en la presencia de hongos y la producción de efluentes.

La fecha de corte tuvo un efecto estadísticamente significativo en la composición química, fue relevante en el contenido de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente ácido y digestibilidad *In vitro* de la materia orgánica. Así como un efecto en la proliferación de hongos y la generación de efluentes en los ensilados.

XIV.- SUGERENCIAS

El ensilado de sorgo puede ser una opción viable para la alimentación del ganado lechero en el municipio de Aculco de Espinoza, Estado de México, por lo que se recomienda la elaboración de más estudios con respecto al sorgo en la región.

Con base en los resultados antes descritos se sugiere considerar la fecha de corte dos como el momento óptimo de cosecha, además se considera que el uso de aditivos no contribuye de manera importante a la mejora en la calidad del ensilado de sorgo. Se considera que la fecha de corte dos sin uso de aditivos presenta el mejor desempeño, al tener un contenido de materia seca superior al 25%, no producir efluentes, tener el segundo valor más alto de proteína, un contenido aceptable de fibras y digestibilidad.

XV.- LITERATURA CITADA

Ankom. 2005. In vitro true digestibility using the DAISY II Incubator Ankom Technology Method 3. Available at: <http://www.ankom.com>. Consultado: 16/02/2023.

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. AOAC International, Arlington, VA.

Argamenteoría A, de la Roza B, Martínez-Fernández a, Sánchez L, Martínez A. 1997. El ensilado en Asturias. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. Conserjería de Agricultura. 127 pp.

Arriaga-Jordán CM, Flores-Gallegos FJ, Peña-Carmona G, Albarrán B, García-Martínez A, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Castelán-Ortega OA. 2001. Participatory on farm evaluation of the response to concentrate supplementation by cows in early lactation in smallholder peasant (campesino) dairy production systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Agricultural Science* 137: 97-103.

Bach A, Calsamiglia S. 2006. La fibra en los rumiantes: ¿química o física?. Memoria de XXII Curso de Especialización FEDNA. Barcelona. 99-113.

Bennett RM, Phipps RH, Strange AM. 2006. The use of life cycle assessment to compare the environmental impact of production and feeding of conventional and genetically modified maize for broiler production in Argentina. *Journal of Animal and Feed Sciences* 15: 71–82. <https://doi.org/10.22358/jafs/66843/2006>

Carrasco N, Zamora M, Melin A. 2011. Manual del sorgo. 1a ed., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Consultado: 28/Ene/2023. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf

Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., & Rapetti, L. (2012). Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4457-4467. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4444>.

Dos Anjos, G. V. S., Gonçalves, L. C., Rodrigues, J. A. S., Keller, K. M., Coelho, M. M., Michel, P. H. F., & Jayme, D. G. (2018). Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. *Journal of dairy science*, 101(7), 6047-6054.

ECLAC- Economic Commissions for Latin America and the Caribbean, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations and IICA - Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. 2015. *The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean*. San José, Costa Rica.

Elshereef AA, Arroyave-Jaramillo J, Zavala-Escalante LM, Piñeiro-Vázquez AT, Aguilar-Pérez CF, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC. 2020. Enteric methane emissions in crossbred heifers fed a basal ration of low-quality tropical grass supplemented with different nitrogen sources. *Czech Journal of Animal Science* 65: 135-144.

Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43: 241-256.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations and FEPALE - Pan American Dairy Federation. 2012. *Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011*, (FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Animal Production and Health Division. Santiago, Chile).

FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y FEPALE - Federación Panamericana de Lechería. 2011. *Dairy situation in Latin America and the Caribbean in 2011*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal. Chile.

FIRA - Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2020. *Panorama Agropecuario: Leche y lácteos*. <http://s3.amazonaws.com/inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/16093139/Panorama-Agroalimentario-Leche-y-la769cteos-2019.pdf>

Garcés A, Berrio L, Ruiz S, Serna J, Builes A. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación* 1 (1): 66-71. Consultado: 17/Ene/2023 <https://www.redalyc.org/pdf/695/69511010.pdf>

Padilla, E. G., & Zuñiga, H. M. (1974). Valoración nutricional de ensilaje de maíz empleando urea, melaza+ urea y carbonato de calcio, como aditivos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(27), 22.

Hemme T, Mohi-Uddin M, Asaah-Ndambi O. 2014. Benchmarking cost of milk production in 46 countries. *Journal of Global Economics* 3:254-270. <http://dx.doi.org/10.6000/1929-7092.2014.03.20>

Hemme T, Mohi-Uddin M, Asaah-Ndambi O. 2014. Benchmarking cost of milk production in 46 countries. *Journal of Global Economics* 3:254-270. <http://dx.doi.org/10.6000/1929-7092.2014.03.20>

http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/GanadoOtrosMpio.doc

INE-Instituto Nacional de Ecología, PNUD-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2008. Impactos sociales del cambio climático en México. México. Consultado:16/Nov/2022

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG009990.pdf>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III. IPCC 5th Assessment Report.* Berlin, Germany. http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf

Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36: 101-119. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>

Kljak K, Pino F, Heinrichs A. 2017. Effect of forage to concentrate ratio with sorghum silage as a source of forage on rumen fermentation, N balance, and purine derivative excretion in limit-fed dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 100: 213-223.

Martínez-Fernández A, Argamenteria A, De la Roza B. 2015. Manejo de forrajes para ensilar. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), España. <http://www.serida.org/pdfs/6079.pdf>

McDonald P, Henderson A, Heron S. 1991. The Biochemistry of Silage. Ed. Chalcombe Publications. UK. Pp 340. ISBN 0-948617-225.

Mionetto-Cabrera A. 2017. Hongos toxicogénicos y producción de micotoxinas en silos de sorgo húmedo. Tesis de maestría en Biología. Universidad de la Republica de Montevideo, Uruguay.

Odermatt P. y Santiago CMJ. 1997. Ventajas Comparativas en la Producción de Leche en México. Agroalimentaria. 5: 35-44.

Ojeda J, Espinoza E, Hernández P, Rojas C, Álvarez J. 2016. Seroprevalencia de enfermedades que afectan la reproducción de bovinos para leche con énfasis en neosporosis. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 3 (8): 243-249. <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n8/2007-901X-era-3-08-00243.pdf>

Ojeda W, Sifuentes E, Íñiguez M, Montero M. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. Agrociencia 45: 1-11 Consultado 14/Oct/2022 <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n1/v45n1a1.pdf>

Oude-Elferink S, Driehuis F, Gottschal J, Spoelstra S. 2001. Los procesos de fermentación en el forraje y su manipulación. Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje e los tropicos del 1 de septiembre al 15 de diciembre de 1999. Editado por L. 't Mannetje <https://www.fao.org/3/x8486s/x8486s04.htm#bm04>

Pachauri, R. K. , Allen, M. R. , Barros, V. R. , Broome, J. , Cramer, W. , Christ, R. , Church, J. A. , Clarke, L. , Dahe, Q. , Dasgupta, P. , Dubash, N. K. , Edenhofer, O. , Elgizouli, I. , Field, C. B. , Forster, P. , Friedlingstein, P. , Fuglestvedt, J. , Gomez-Echeverri, L. , Hallegatte, S. , Hegerl, G. , Howden, M. , Jiang, K. , Jimenez Cisneroz, B. , Kattsov, V. , Lee, H. , Mach, K. J. , Marotzke, J. , Mastrandrea, M. D. , Meyer, L. , Minx, J. , Mulugetta, Y. , O'Brien, K. , Oppenheimer, M. , Pereira, J. J. , Pichs-Madruga, R. , Plattner, G. K. , Pörtner, H. O. , Power, S. B. , Preston, B. , Ravindranath, N. H. , Reisinger, A. , Riahi, K. , Rusticucci, M. , Scholes, R. , Seyboth,

K. , Sokona, Y. , Stavins, R. , Stocker, T. F. , Tschakert, P. , van Vuuren, D. and van Ypserle, J. P. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. Pachauri and L. Meyer (editors), Ginebra, Suiza, IPCC, 151 p., ISBN: 978-92-9169-143-2.

Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López-González F, Arriaga-Jordán CM. 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of México. *Tropical Animal Health and Production* 49:1537–1544. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>

Rao I, Peters M, Castro A, Schultze-kraft A, White D, Fisher M, Miles J, Lascano C, Blümmel M, Bungenstab D, Tapasco J, Hyman G, and Rudel T. 2015. LivestockPlus – The sustainable intensification of forage -based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical grasslands-Forrajes tropicales* 3:59–82. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(3\)59-82](https://doi.org/10.17138/TGFT(3)59-82)

Riveros E. and Argamentarúa A., 1987. Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. *Avances en Producción Animal* 12: 59–75.

Rodríguez J, García G, Hernández A, Hernández M. 2021. Evaluación agronómica de sorgos forrajeros en el bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44 (4): 687-691. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/download/893/849>

Ruiz-Corral J, Medina G, Rodríguez V, Sánchez J, Villavicencio R, Durán N, Grageda J, García G. 2016. Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13: 2451-2466. Consultado 29/Nov/2022. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe13/2007-0934-remexca-7-spe13-2451.pdf>

SAGARPA – Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030; *Sorgo Gano Mexicano*. México. Consultado: 16/Nov/2022.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf

SAGARPA- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2012. México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. México. Consultado: 22/Oct/2022.

<https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-cambio-climatico.pdf>

SAGARPA- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el estado de Tabasco. México. <https://campotabasco.gob.mx/wp-content/uploads/2021/04/SORGO.pdf>

Sainz A, Botana A, Pereira S, González L, Veiga M, Resch C, Valladares J, Arriaga C, Flores G. 2020. Efecto de la fecha de corte y el uso de aditivos en la composición química y calidad fermentativa del ensilado de girasol. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3): 620-637.

Sainz A, Estrada J, Velarde J, López F, Arriaga C. 2023. Efecto de aditivos en la composición química de ensilados de haba (*Vicia faba*). XXVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (ALPA), 31(Sulp 1): 249-256. <https://www.doi.org/10.53588/alpa.310543>

SIAP - Servicio de Información Agroalimentario y Pesquero. Informe Nacional: Producción anual de leche y producción agrícola. 2020.

SIAP- Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. México. Consultado 13/Feb/2023 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Tilley JM, Terry RA. 1993. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18:104-111.

Van Soest P, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *International Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.

Wynn PC, Godfrey SS, Aslam N, Warriach HM, Tufail S, Jahan M, Batool Naqvi Z, Latif S, Wang B, McGill DM. 2019. Perspectives on the production of milk on small-holder dairy farms and its utilisation in developing countries. *Animal Production Science* 59: 2123-2130. <https://doi.org/10.1071/AN19209>.

Yang Y, Ferreira G, Corl B, Campbell B. 2019. Production performance, nutrient digestibility, and milk fatty acid profile of lactating dairy cows fed corn silage- or sorghum silage-based diets with and without xylanase supplementation. *Journal of Dairy Science*. 102: 2266-2274. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15801>