



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

**“Efecto de aditivos en el valor nutricional *in vitro* de
ensilados de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*)”**

TESIS

Que para obtener el título de:

Médica Veterinaria Zootecnista

PRESENTA:

Ana Estefanía Sánchez Martín

ASESORES:

Dra. Aurora Sainz Ramírez

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

MVZ. Alejandro Adelaido Morales Cruz



Toluca de Lerdo, México, agosto de 2024

RESUMEN

Actualmente existe la necesidad de buscar alternativas forrajeras de calidad que no sólo disminuyan los costos de producción, sino que también se adapten al creciente cambio climático que afecta negativamente la producción de alimento para el ganado, provocando escasez de recursos y que además cumpla con los requerimientos nutritivos del ganado. El pasto kikuyo es un forraje naturalizado y altamente distribuido en México, resistente y que cumple con las características anteriormente mencionadas. Conservar los forrajes a través del ensilado es uno de los mejores métodos para evitar la pérdida de nutrientes y para disponer de forraje en la época seca de escasez.

En el presente trabajo se evaluó la composición química del ensilado de pasto kikuyo como alternativa de alimentación para los sistemas de producción de leche a pequeña escala, usando dos aditivos: inóculo bacteriano, melaza y su combinación.

El pasto fue cosechado en 2023 en el Bordo “Las Maravillas”, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de México, no se fertilizó, ni realizó ningún tipo de tratamiento previo a la cosecha. Se realizaron 20 microsilos de laboratorio en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), que se dividieron en cuatro tratamientos: Inóculo bacteriano, melaza, inóculo con melaza y los microsilos control. La apertura de los microsilos se realizó a los 28 días posteriores, y se realizaron los análisis de laboratorio para determinar materia seca (MS), materia orgánica (MO), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), proteína cruda (PC) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS); de igual forma, se analizó pH, producción de efluentes y cantidad y tamaño de colonias fúngicas. Se realizó el análisis estadístico con un diseño totalmente aleatorio, con 4 tratamientos (control, inóculo, melaza y melaza en conjunto con inóculo) y 5 repeticiones por tratamiento.

Se encontró que el uso de aditivos afecta ($P < 0.01$) la composición química del ensilaje de pasto kikuyo, en las variables de: MS, pH, efluentes, MO, FDN, FDA, PC

y DIVMS. El inóculo bacteriano fue el aditivo que mejor conservó las características del forraje (MS, FDN, FDA, PC y DIVMS), asemejándose más a los resultados obtenidos en el ensilado control; mientras que la melaza y el inóculo en conjunto con la melaza produjeron más efluentes y hongos, pero disminuyeron FDN y FDA, además de que aumentaron la cantidad de MS, ocasionando pérdida de nutrientes todo esto debido a la cualidad higroscópica que posee la melaza.

Índice

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LA LITERATURA..... | 3 |
| 1. Cambio climático..... | 3 |
| 2. Sistemas de producción de leche en México | 4 |
| 2.2. Sistemas de producción de leche a pequeña escala | 5 |
| 2.3. Alimentos usados en los sistemas de producción de leche a pequeña escala en México..... | 6 |
| 3. Pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) | 7 |
| 4. Proceso de ensilaje | 8 |
| 4.1. Etapas del ensilaje | 9 |
| 5. Fermentación | 11 |
| 6. Ensilaje de pastos | 12 |
| 7. Uso de aditivos | 13 |
| 8. Análisis del valor nutricional <i>in vitro</i> de los alimentos..... | 15 |
| III. JUSTIFICACIÓN..... | 17 |
| IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN..... | 18 |
| V. HIPÓTESIS | 19 |
| VI. OBJETIVOS | 20 |
| Objetivo General..... | 20 |
| Objetivos específicos..... | 20 |
| VII. MATERIAL | 21 |
| VIII. MÉTODO..... | 22 |
| IX. LÍMITE DE ESPACIO | 25 |
| X. LÍMITE DE TIEMPO | 26 |
| XI. RESULTADOS | 27 |
| XII. DISCUSIÓN..... | 31 |
| XIII. CONCLUSIONES..... | 38 |

I. INTRODUCCIÓN

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) es una gramínea perenne exótica, introducido a México como forraje que se ha extendido explosivamente en los últimos 50 años, que se ha naturalizado en las regiones templadas y subtropicales húmedas y subhúmedas del centro de México, de forma que domina prácticamente todos los céspedes, praderas, y los pastizales perturbados en los alrededores de las poblaciones grandes y pequeñas. También invade la vegetación natural, como los pastizales y ciénegas en los bosques de pino-encino y en el bosque mesófilo. Tiene hábitos de crecimiento en primavera, verano y otoño (Perdomo-Roldán *et al.*, 2004).

El kikuyo como recurso forrajero en las regiones donde se ha naturalizado se utiliza primordialmente para pastoreo temporal durante la época de lluvias de verano. En la temporada de invierno disminuye la presencia y desarrollo del kikuyo por la ausencia de lluvias, particularmente en los Valles Altos de México con climas subhúmedos, además hay caída de heladas de invierno, que el pasto kikuyo no resiste, situación que afecta los sistemas de producción ganadera en pequeña escala; por lo que es importante para los productores encontrar una forma de garantizar que su ganado cuente con alimento todo el año (Plata-Reyes *et al.*, 2021).

El proceso de ensilaje es un método óptimo para la conservación de forrajes; por esta razón, ensilar kikuyo como alternativa puede ser favorable. De forma tradicional, los forrajes de porte alto se usan para el proceso de ensilaje; sin embargo, es posible usar forrajes rastreros para la preparación de ensilados (Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero, 2016). El ensilaje de forrajes con alta humedad, como es el ensilado de pastos, requiere de aditivos que favorezcan la fermentación, se sabe que la adición de productos que actúan como desecantes naturales contribuye a incrementar el contenido de materia seca (Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero, 2016).

Los pastos se caracterizan por tener un contenido limitado de carbohidratos necesarios para un correcto proceso de ensilaje, por lo que la adición de melazas

favorece el incremento de los carbohidratos solubles disponibles, y la utilización de inóculos de bacterias favorece el proceso de ensilaje para garantizar la calidad de los ensilados (Piltz *et al.*, 2022).

En México son limitados los reportes en la literatura científica sobre el pasto kikuyo, y se refieren a investigaciones en pastoreo (Hernández-Mendo *et al.*, 2000; Álvarez-Almora *et al.*, 2008; Plata-Reyes *et al.*, 2018). Estudios en los Valles Altos del centro de México han demostrado el potencial del kikuyo bajo pastoreo para sistemas de producción de leche en pequeña escala con buenos resultados en el valor nutricional y en rendimientos moderados de leche (Marin-Santana *et al.*, 2020; 2023; Plata-Reyes *et al.*, 2018; 2021; 2023).

Durante la época de lluvias en la zona noroeste del Estado de México en los sistemas de producción de leche en pequeña escala existe un exceso de pastos, por lo que el ensilaje de pastos puede ser una opción para que los productores conserven pasto cultivado o el kikuyo para la época seca. En ese sentido el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad nutricional *in vitro* de ensilados de pasto kikuyo solo o con aditivos.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. Cambio climático

Se conoce al cambio climático como la alteración significativa de las condiciones climáticas normales a lo largo de varias décadas, el cual se manifiesta de diversas formas (Turrentine y Denchak, 2021).

El cambio climático plantea una amenaza significativa para la producción ganadera debido a su impacto en diversos aspectos clave. Estos incluyen la calidad de los forrajes y los cultivos forrajeros, la disponibilidad de agua para el ganado, la producción animal y lechera, la aparición de enfermedades entre el ganado y la biodiversidad en general (Rojas-Downing *et al.*, 2017).

Con la situación actual, las fluctuaciones en la temperatura generarán cambios en las tasas de crecimiento de las plantas, que resultará en un menor rendimiento de los cereales y cultivos; también la falta de agua dada por el aumento de temperatura y falta de precipitaciones puede resultar en un estrés hídrico para las plantas, lo que disminuye la productividad de los cultivos (Rojas-Downing *et al.*, 2017). Para 2050 se proyecta una disminución drástica en la productividad del maíz, el cual es uno de los alimentos más importantes para la alimentación del ganado (INECC, 2018).

Se prevé que entre 2020 y 2050 los estados que más se verán afectados por las sequías serán Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz (SAGARPA, 2012). Las prácticas agrícolas estacionales son más susceptibles a alteraciones por las precipitaciones según la temporada, en la República Mexicana un 82% de la producción de alimentos se re realiza bajo este esquema (SAGARPA, 2012). Se estima que a finales del siglo XXI en el Estado de México la temperatura aumente de 2.8 a 3°C, además de que las precipitaciones disminuirán del 15 al 20% (Orozco-Hernández *et al.*, 2015).

En México y en varias partes del mundo se han presentado graves problemas de sequías, lo anterior ha obligado a la ganadería a buscar alternativas de forrajes que se adapten a los actuales cambios climáticos, y de esta forma, proveer al ganado

de alimento (Sainz-Ramírez *et al.*, 2023). En ese sentido, el pasto kikuyo es un forraje altamente adaptado, que crece con las lluvias en épocas de verano e inicios del otoño, además de que tolera las sequías de invierno y primavera, ya que su demanda de agua no es estricta, en verano el crecimiento de este pasto excede la demanda diaria de alimento de los animales, lo que puede permitir que sea conservado como ensilado para todo el año (Griffiths y Beale, 2021; Acero-Camelo, 2019).

2. Sistemas de producción de leche en México

Desde los años 90, la producción láctea en México creció a un promedio anual del 1.3%, ubicándose en el puesto 16 a nivel mundial, con una participación del 3% en la producción global.

La producción de leche bovina en México es diversa en términos tecnológicos, agroecológicos y socioeconómicos, reflejando una diversa gama de climas, tradiciones y costumbres locales, esta heterogeneidad abarca desde métodos de producción tecnificados hasta prácticas más tradicionales (Loera y Banda, 2017). La ganadería lechera en México comprende tres sistemas de producción: especializado, doble propósito y sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE) (Hernández-Morales, *et al.*, 2013).

El sistema especializado destaca por su alta tecnología o alto grado de mecanización, uso intensivo de factores productivos y ganado de calidad que se encuentra normalmente estabulado, aportando el 50% de la producción nacional, principalmente se observan este tipo de sistemas en estados como Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Veracruz (Robledo-Padilla, 2018; Odermatt *et al.*, 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

El sistema de doble propósito, presente en regiones de clima árido, templado y tropical, tales como Veracruz, Nayarit, Tabasco, Guerrero, Jalisco, Tamaulipas y San Luis Potosí; produce carne y leche, generalmente su producción es dada por ganado de razas cebuinas y especializadas ya que dadas las condiciones de estos lugares se requieren animales resistentes; la alimentación del ganado se hace

principalmente con pastizales y de manera extensiva, tiene una participación del 9% a nivel nacional (Robledo-Padilla, 2018; Odermatt et al, 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

Los SPLPE son sistemas con tecnificación baja, donde la producción láctea se destina a satisfacer principalmente las necesidades de las comunidades pequeñas, la mano de obra es prácticamente familiar, se observa el uso de razas como Holstein, Jersey y Pardo Suizo, además de sus cruza. Se encuentran en todo el país, pero se localizan mayormente en regiones de clima templado (Odermatt et al, 1997; FIRA, 2020; SIAP, 2020).

En general, las explotaciones no tecnificadas muestran una utilidad más alta en términos absolutos y relativos, pero su producción diaria en litros es considerablemente menor en comparación con las tecnificadas. Esto sugiere que, si bien las explotaciones no tecnificadas pueden generar mayores márgenes de beneficio, su eficiencia y producción por día son inferiores en comparación con las explotaciones tecnificadas (Loera y Banda, 2017).

2.2. Sistemas de producción de leche a pequeña escala

En el censo agropecuario de 2007 el 78% de las unidades de producción lechera eran de pequeña escala en la república mexicana, aportando el 37% de la producción total. Los sistemas de producción de leche en pequeña escala son fundamentales para el desarrollo rural, contribuyendo significativamente a la producción nacional y la creación de autoempleos. Esto facilita que los miembros de las familias permanezcan en sus comunidades en lugar de migrar a las ciudades en busca de oportunidades laborales. Estos sistemas representan una opción crucial para el arraigo y el desarrollo sostenible de las comunidades rurales al proporcionar fuentes de ingresos estables y ayudar a mantener la cohesión social y cultural en estas áreas (Martínez-García y Rayas-Amor, 2022). La diversidad y heterogeneidad de esta producción, ligada a diferentes agroecosistemas, destaca la importancia de comprender sus características locales para optimizar beneficios y apoyar a los productores (Ojeda-Carrasco *et al.*, 2020).

Los SPLPE deben tener una producción rentable para que perduren en el tiempo, fundamento de la sostenibilidad. Los ingresos de las unidades de producción se ven directamente afectados por la disponibilidad y costos de los insumos para la alimentación del ganado. La alimentación del ganado representa el 70% de los costos de producción en las unidades a pequeña escala. El uso de forrajes durante todo el año mediante métodos de conservación como el ensilaje o el henificado es una alternativa para reducir los costos de alimentación (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Martínez-Fernández *et al.*, 2015).

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala se encuentran principalmente en la región central del altiplano de nuestro país y una de sus principales características es involucrar a miembros de la familia como base de la fuerza de trabajo. Sin tener en cuenta a los animales de reemplazo, la cantidad de cabezas por hato en los SPLPE puede oscilar entre 3 y 35 vacas, y la producción media de leche por vaca oscila entre 15 y 19 kg por día. Los SPLPE se enfocan en la producción interna sobre todo de recursos forrajeros y granos para la alimentación de los animales, pero están condicionados a la compra de insumos para cubrir los requerimientos de los animales principalmente concentrados comerciales (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Prospero- Bernal *et al.*, 2017).

2.3. Alimentos usados en los sistemas de producción de leche a pequeña escala en México

Los SPLPE emplean mano de obra familiar y poseen áreas limitadas de tierra, en promedio 4.5 hectáreas, dedicadas a cultivos como maíz y praderas. La alimentación del ganado consiste en rastrojo de maíz, pajas de cereales, praderas, concentrado comercial y granos (Martínez-García y Rayas-Amor, 2022). En sistemas de producción lechera a pequeña escala, el maíz es fundamental como alimento, principalmente suministrado como ensilado. En Valles Altos de México, se emplea como grano en dietas integrales. Además, se aprovecha el rastrojo de maíz como complemento alimenticio, siendo un recurso de bajo valor económico dentro del mismo sistema productivo (Ojeda-Carrasco *et al.*, 2020).

Los sistemas de producción de leche en México contribuyen significativamente a la economía nacional, regional y local, distribuyéndose en diversas regiones del país. Cada unidad de producción enfrenta desafíos específicos como mantener sus niveles de producción y reducir costos (Avilés-Ruíz *et al.*, 2024). La conservación del forraje como alternativa de alimentación para las épocas de escasez resulta de suma importancia para estos tipos de sistemas de producción.

3. Pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*)

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) es una gramínea perenne, de crecimiento rastrero. Es un pasto exótico en México, nativo de África, bien adaptado a zonas frías; su tallo puede llegar a medir hasta 1m de largo, algunas variedades pueden crecer de forma erecta o semierecta, alcanzando los 0.5-0.6 m de alto. El suelo requiere estar bien drenado, crece a temperaturas de 10-18°C, con precipitaciones superiores a 800-2800mm. Tiene tolerancia limitada a la sequía; pero no tolera las heladas (Perdomo-Roldán *et al.*, 2009; Martínez-Viloria *et al.*, 2020).

Fue introducido a México como forraje, y es considerado un pasto invasivo por su fácil propagación, ya que tiende a formar de forma acelerada matas muy densas, las cuales pueden llegar a suprimir otras especies. Así mismo, produce toxinas que matan a otras plantas con las que compiten por espacio. Además, es considerada nociva en algunos estados de Estados Unidos y otras partes del mundo (Perdomo-Roldán *et al.*, 2009; Martínez-Viloria *et al.*, 2020). En México se encuentra ampliamente distribuido con presencia descrita en Baja California, Chiapas, Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Puebla, Veracruz, Chihuahua, Jalisco, Colima, Querétaro y Michoacán, según Perdomo-Roldán *et al.*(2009).

A pesar de que es ampliamente usado como un recurso forrajero, al ser una gramínea subtropical se considera que su calidad nutricional es baja, dado que el contenido de energía digestible es baja y la digestibilidad de los carbohidratos estructurales que lo conforman también lo es (Perdomo-Roldán *et al.*, 2009; Martínez-Viloria *et al.* 2020). Puede tener un contenido de proteína que varía entre 11 y 22% y una digestibilidad de 65-80%. Su calidad nutritiva puede estar

determinada por su morfología, fisiología y su composición química, los cuales pueden variar según el estado de floración o maduración del pasto y las condiciones ambientales que se presentan durante su crecimiento (Perdomo-Roldán *et al.*, 2009; Martínez-Viloria *et al.* 2020).

Puede usarse para el pastoreo rotacional, ya que es una especie resistente al pisoteo y también al pastoreo (soporta hasta 1.5-3.0 unidades animales por hectárea) gracias a su red de raíces, lo que hace que esa parte de sus tallos sea fácil de renovar, también soporta el pastoreo continuo (Martínez-Viloria *et al.*, 2020).

En los Valles Altos del Centro de México bajo pastoreo continuo se ha reportado durante la época de lluvias un contenido de proteína cruda de 21.3% y una digestibilidad de la materia orgánica de 66.5% semejante a la de especies de clima templado como el ballico perenne (*Lolium perenne*) (Plata-Reyes *et al.*, 2018); y en un seguimiento a lo largo de un año se reportó un promedio anual de contenido de proteína cruda en kikuyo de 16.3% y 64% de digestibilidad de la materia orgánica (Plata-Reyes *et al.*, 2023).

4. Proceso de ensilaje

El ensilaje es descrito como “la fermentación de los carbohidratos solubles del forraje por medio de bacterias productoras de ácido láctico en condiciones anaeróbicas, donde como producto final podemos obtener la conservación del alimento” (Garcés-Molina *et al.*, 2004), dado que la correcta acidificación del medio inhibe el crecimiento de microorganismos no deseables. El proceso de ensilaje de un forraje requiere de un contenido en humedad entre el 60 y el 70%, y su valor nutricional es parecido al del forraje sin ensilar; que se puede mantener a través del uso de diferentes aditivos (Garcés-Molina *et al.*, 2004; PROAIN, 2020).

Mediante el ensilaje es posible almacenar y conservar forraje para tiempos de escasez sin perder la calidad (Garcés-Molina *et al.*, 2004) y asegurar la disponibilidad de alimento para los animales durante épocas climáticas de sequías (PROAIN, 2020).

4.1. Etapas del ensilaje

En un proceso correcto de ensilaje, el forraje pasa a través de cuatro etapas:

1) Fase aeróbica:

Es la fase más corta, puesto que dura solo unas horas. En esta fase el oxígeno disminuye drásticamente. En esta etapa el pH se mantiene de 6.5-6.0 y la temperatura debe de ser menor a 30°C. De igual forma es de suma importancia considerar la humedad, ya que el forraje debe de contener de 60-70% de humedad (Oude-Elferink *et al.*, 2001; PROAIN, 2020).

En esta fase, algunas veces también se pueden encontrar microorganismos cuya presencia altera de forma negativa el ensilado, tales como las levaduras, las cuales, bajo condiciones favorables, fermentan azúcares, produciendo CO₂ y etanol. El etanol disminuye el azúcar disponible para las bacterias productoras de ácido láctico que es el objetivo del ensilaje. Aunado a esto, muchas especies de levaduras degradan el ácido láctico en CO₂ y agua, lo cual eleva el pH del ensilaje, permitiendo así que se desarrollen otros organismos indeseables (Garcés-Molina *et al.*, 2004).

Se encuentran bacterias patógenas las cuales compiten con las bacterias productoras de ácido láctico por los azúcares disponibles y degradan proteínas, lo cual ocasiona que disminuya el valor nutritivo del ensilaje, además de que genera compuestos tóxicos como por ejemplo, aminas biogénicas y ácidos grasos de cadena múltiple (Garcés-Molina *et al.*, 2004).

2) Fase de fermentación:

Al producirse un ambiente anaeróbico, se da por iniciada esta fase. Su duración va de varios días a semanas, según las características del material a ensilar y las diversas condiciones que se presentan al momento de ensilar. Se inicia con la actividad de las bacterias anaerobias productoras de ácido acético, las cuales se encargan de disminuir de forma súbita el pH del ensilado, y de esta manera aumentar la acidez del ensilado. Las bacterias productoras de ácido láctico se

multiplican rápidamente, dando por resultado que la fermentación se desarrolle de forma exitosa, y de esta forma las bacterias productoras de ácido láctico (BAL) se convierten en los microorganismos predominantes. Estas bacterias disminuyen aún más el pH, lo cual inhibe el crecimiento de algunos microorganismos patógenos (tales como *Clostridium*, una bacteria de tipo butírica, las cuales provocan el deterioro del ensilado debido a una fermentación indeseable). Como se comentó anteriormente, el pH llega a niveles ácidos (3.8-5.0) por acción de estas bacterias, lo que hace que el forraje pueda conservarse de forma óptima (Oude Elferink *et al.*, 2001; Garcés-Molina, *et al.*, 2004).

3) Fase estable:

En un ambiente anaerobio ocurren pocos cambios, sin embargo, las bacterias productoras de ácido láctico y ácido butírico disminuyen gradualmente su presencia en esta fase. Algunas bacterias productoras de ácido láctico entran en un estado inactivo; otras bacterias clostridiales y bacilos quedan presentes como esporas (Oude Elferink *et al.*, 2001).

En esta fase también es posible encontrar la presencia de bacterias indeseables, tales como bacterias acidófilas, ácido tolerantes y aerobias, lo cual puede iniciar una deterioración aeróbica, dando como resultado CO₂ y agua; la presencia de *Clostridium* también es un problema, ya que puede fermentar carbohidratos y proteínas, lo cual disminuye la calidad del ensilaje. (Garcés-Molina *et al.*, 2004)

4) Fase de deterioro aeróbico

Una vez que se abre el silo y se expone al aire, se da por iniciada esta fase (Garcés-Molina *et al.*, 2004). Este período puede dividirse en dos etapas; la primera ocurre por acción de las levaduras y algunas veces por las bacterias productoras de ácido acético, en conjunto, ocasionan la degradación de los ácidos orgánicos del ensilaje; todo esto aumenta el pH, con lo cual se inicia la segunda etapa del deterioro.

La segunda etapa consiste en un aumento de la temperatura, y también, de algunos microorganismos (tales como algunos bacilos) y su actividad deteriora el ensilaje.

Las pérdidas por deterioro varían entre el 1.5 y 4.5% de MS (materia seca) diarias, que pueden ser observadas en diferentes áreas (Oude Elferink *et al.*, 2001).

Una vez que se abre el silo, se puede observar la presencia de mohos. Estos crecen en cualquier parte del ensilado donde encuentren oxígeno, durante esta última fase del ensilaje todo el producto es propenso a ser invadido por mohos, estos microorganismos también disminuyen el valor nutritivo y la palatabilidad del ensilado, además de que son un riesgo para la salud animal, por ende, es importante su medición como indicativo de la calidad del ensilado (Garcés-Molina *et al.*, 2004).

5. Fermentación

La fermentación de un ensilado es un proceso anaeróbico, en el cual, a través de diferentes reacciones, los azúcares se transforman en ácidos orgánicos (especialmente ácido acético y ácido láctico), producidos gracias a la acción de diferentes microorganismos presentes en el ensilado (Martínez-Fernández *et al.*, 2014).

El ensilado se compone de diferentes procesos fermentativos:

1) *Fermentación acética:*

Una vez que las células vegetales mueren, se comienzan a desarrollar bacterias coliformes (especialmente de la familia *Enterobacteriaceae*), las cuales se encargan de la producción de ácido acético a partir del ácido láctico. Estas bacterias coliformes sólo se presentan en la fase inicial del ensilado, siendo reemplazadas de forma gradual por las bacterias productoras de ácido láctico (Martínez-Fernández *et al.*, 2014).

2) *Fermentación láctica:*

En la fase final del proceso de ensilado, la fermentación láctica, realizada por bacterias lácticas, convierte los azúcares y carbohidratos del forraje en ácido láctico (Martínez-Fernández *et al.*, 2014; Garcés-Molina *et al.*, 2004). La acción

fermentativa cesa por falta de azúcares y acumulación de ácido láctico, estabilizando y transformando el forraje en ensilado. Condiciones óptimas y la sucesión de microorganismos garantizan un proceso eficiente, preservando el forraje para su uso posterior (Martínez-Fernández *et al.*, 2014).

6. Ensilaje de pastos

La elección de forrajes para apoyar la producción láctea debe fundamentarse en factores esenciales como la cantidad de tierra disponible, tipo de suelo, topografía, clima y la disponibilidad de forrajes y concentrados adquiridos. Estos elementos influyen en la toma de decisiones para optimizar la producción lechera y garantizar una gestión efectiva de los recursos disponibles en la explotación ganadera (Harrison *et al.*, 1994). Los principales objetivos de ensilar pastos son: evitar el desperdicio del exceso de forraje que se produce en primavera dado el rápido crecimiento del mismo, poder conservar ese forraje para la época de invierno y tener un alimento con un valor nutricional similar al del forraje fresco con un costo relativamente barato (Martínez-Fernández, 2014).

Los pastos y los ensilados elaborados con estos son componentes importantes en las dietas del ganado. Según la especie, tiempo de cosecha, crecimiento y desarrollo del pasto, los nutrientes pueden variar significativamente. La cosecha oportuna de pastos puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad del forraje, siendo crucial para mantener ingresos netos favorables sobre el costo de alimentación. Sin embargo, la cosecha tardía de pastos o la selección de variedades de bajo rendimiento pueden resultar en una disminución de los ingresos netos, afectando negativamente la rentabilidad al aumentar los costos de alimentación y reducir la eficiencia del proceso. La gestión adecuada del tiempo de cosecha y la elección de variedades productivas son fundamentales para mantener un equilibrio favorable en la producción forrajera. (Pozdíšek *et al.*, 2003; Leverich *et al.*, 2011)

Las gramíneas (ej. kikuyo), al momento del corte, poseen una cantidad baja de carbohidratos solubles en agua, los cuales son esenciales para el éxito de un ensilado; por ende, no son el mejor material para el ensilaje. A pesar de esto, existen

diversas técnicas o prácticas como el uso de aditivos y conservación en silos pequeños que contribuyen a mejorar la fermentación, evitan la proteólisis y disminuyen la amortiguación (buffer), lo cual ayuda considerablemente a mejorar la calidad del ensilaje (Titterton y Bareeba, 2000).

Las gramíneas deben ser cosechadas temprano en la fase vegetativa para ensilarlas cuando su contenido de proteína y digestibilidad alcanza niveles óptimos. Aunque esta fase garantiza niveles elevados de nutrientes, el contenido relativamente alto de humedad en las plantas puede tener un impacto negativo en la calidad de fermentación del ensilado. Por lo tanto, es esencial equilibrar cuidadosamente el momento de la cosecha para garantizar un forraje de calidad sin comprometer la eficiencia del proceso de ensilaje (Titterton y Bareeba, 2000)

Se recomienda que el contenido de humedad de los ensilajes de pasto se encuentre en el rango del 60 al 65 % para lograr un empaque óptimo y una fermentación adecuada. Este aspecto subraya la necesidad de prácticas cuidadosas en la gestión de ensilajes de pasto para mantener su calidad (Leverich *et al.*, 2011).

El ensilado de pasto kikuyo ha sido usado y estudiado en países como Gales (Griffiths y Beale, 2021), Australia (Kaiser, *et al.*, 2000), Costa Rica (Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero, 2016), Colombia (Avellaneda-Avellaneda *et al.*, 2023; Mojica *et al.*, 2009), Ecuador (Riofrío-Ullauri, 2008) y Sudáfrica (de Figueiredo *et al.*, 1994), sin embargo, no hay reportes en México acerca de ensilado de kikuyo.

7. Uso de aditivos

Desde los años 90, el uso de aditivos en el ensilaje se popularizó, ofreciendo diversas opciones químicas y biológicas. Con una amplia variedad de productos disponibles, la elección de aditivos se simplifica, ya que su modo de acción suele clasificarse en pocas categorías. Esta diversidad de opciones ha mejorado las condiciones del proceso de ensilaje, permitiendo una selección adecuada de aditivos para optimizar la conservación de forrajes de manera eficiente (Oude Elferink *et al.*, 2001).

Existe una amplia variedad de aditivos, que se agrupan en dos tipos principales: los restrictores y los estimuladores de la fermentación. El primer tipo se refiere a aquellos que inhiben la generación de microorganismos indeseables ya que favorece las actividades de las bacterias lácticas o también a los aditivos que tienen acción bacteriostática, hay otros que combinan ambas acciones, en este tipo están los ácidos minerales y orgánicos además de las sales de ácido orgánico e inorgánico. El segundo tipo hace referencia a aquellos aditivos que se han vuelto populares, pues disminuyen la pérdida de nutrientes, son de manejo seguro y además mejoran la digestibilidad de y el metabolismo del nitrógeno en rumen (Martínez-Fernández, 2014).

Entre los aditivos estimuladores de la fermentación se encuentran: Inoculantes, enzimas, inoculantes asociados a enzimas, nutrientes y absorbentes. En los inoculantes están presentes las bacterias de ácido láctico (tales como *Lactobacillus*, *Pediococcus* y *Streptococcus*). Dentro de los sustratos se encuentran las melazas, glucosa, sacarosa, granos de cereales y pulpa de betabel y de cítricos (Martínez-Fernández, 2014).

Para mejorar la fermentación, es necesario aumentar los azúcares, ya sea directamente o mediante la introducción de enzimas que liberen otros azúcares presentes en el forraje. La melaza, por ejemplo, sirve para acelerar la fermentación del ensilado al proporcionar azúcares solubles que las bacterias convierten en ácido láctico. Resulta esencial cuando la humedad del forraje supera el 70%, ya que garantiza niveles adecuados de azúcares para el proceso pues la calidad del ensilaje se ve afectada por forrajes con bajos niveles de azúcares solubles o contenido insuficiente de materia seca (Garcés Molina *et al.*, 2004).

Los inóculos son aditivos con bacterias vivas disponibles comercialmente, los cuales se suman a ciertos tipos de bacterias ácido-lácticas (BAL) para acelerar y mejorar el proceso de ensilaje. En forrajes con alta materia seca y escasez de agua, la presencia de BAL tolerantes a la presión osmótica se vuelve crucial para lograr una fermentación exitosa. Es relevante destacar que estas bacterias constituyen una pequeña fracción de la microflora natural de los cultivos forrajeros. Los inoculantes

de ensilaje con *Lactobacillus* mejoran la estabilidad aeróbica de los ensilajes de pasto. Su eficacia se maximiza cuando los pastos se ensilan con un contenido de humedad más alto (60-65%) en comparación con ensilajes demasiado secos (menos del 55% de humedad) (Garcés Molina *et al.*, 2004; Leverich *et al.*, 2011).

Aunque algunas especies de *Bacillus* generan sustancias fungicidas útiles para inhibir el deterioro aeróbico en ensilajes, generalmente se consideran indeseables. Comparados con el grupo de bacterias productoras de ácido láctico (BAL), son menos eficientes en la producción de ácido láctico y acético. En la etapa final tienden a aumentar el deterioro aeróbico, limitando su utilidad en el proceso de ensilaje (Garcés-Molina *et al.*, 2004).

8. Análisis del valor nutricional *in vitro* de los alimentos

De forma cuantitativa, el valor nutricional es definido como la proporción de cada nutriente que se encuentra en una base seca, tales como proteínas, minerales, lípidos, entre otros. Determinar el valor nutritivo de los alimentos nos permite generar raciones de alimentos donde haya una adecuada utilización de los elementos, además de que nos puede permitir mejorar las cualidades nutritivas de un alimento mediante el uso de tratamientos (Reyes-Sánchez y Mendieta, 2000). Los métodos *in vitro* se utilizan ampliamente en las ciencias de la alimentación, la nutrición y la industria farmacéutica porque permiten estudiar los cambios estructurales, la digestibilidad y la liberación de componentes de alimentos bajo condiciones gastrointestinales específicas (Hernández-Esquivel *et al.*, 2023).

Como base de los estudios de valor nutricional, hace más de 100 años, dos científicos alemanes, Henneberg y Stohmann, desarrollaron un sistema de análisis llamado análisis de proximidad de alimentos, que inicialmente proporcionaba la información más extensa sobre la composición de los alimentos. La información sobre la composición de los alimentos se está expandiendo rápidamente gracias a la introducción de nuevas técnicas analíticas. Se han creado nuevas formas de describir los alimentos en función de cómo se expresan sus necesidades nutricionales (McDonald *et al.*, 2011).

El sistema de análisis proximal, también llamado método Weende, divide los alimentos en seis fracciones: humedad, ceniza, proteína, extracto éter, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (McDonald *et al.*, 2011). El análisis proximal determina la composición de un alimento en función de grupos de compuestos con características físicoquímicas similares, pero con diferentes valores nutritivos (Apráez-Guerrero, 2020).

Sin embargo, actualmente estos métodos se usan cada vez menos debido a que son considerados poco precisos, e incluso algunos han sido reemplazados por otros procedimientos, por ejemplo, la fibra cruda se ha sustituido por los análisis de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido propuestos por Van Soest en 1991 (McDonald *et al.*, 2011). A pesar de sus limitaciones, el análisis proximal ha sido el punto de referencia durante más de cien años para la determinación de la composición de los alimentos, aunque los métodos de análisis hayan cambiado, la base sigue siendo la misma (Apráez-Guerrero, 2020).

La proteína contenida en un alimento, químicamente, es calculada con el nitrógeno que contiene, el cual es determinado a través de una modificación del método Kjeldahl. Otros de los métodos proximales que siguen siendo usado en la actualidad es el cálculo de cenizas (realizado con muestras que son incineradas a 550°C) y la humedad (calculada a través del secado de muestras a 55°C) (McDonald *et al.*, 2011). Algunos valores que pueden afectar el valor nutritivo de los alimentos son los factores del animal (especie, edad, selectividad) y los referentes al alimento (composición química, fracción fibra bruta, conservación del alimento y su preparación, palatabilidad, tratamientos del alimento) (Reyes-Sánchez y Mendieta, 2000).

III. JUSTIFICACIÓN

La intensificación sostenible de los sistemas ganaderos es crucial para satisfacer las demandas alimentarias, promover el desarrollo rural y reducir las huellas ambientales. La alimentación basada en forrajes de calidad es fundamental, pero las sequías y heladas representan desafíos para su disponibilidad, pues su producción y rendimiento disminuye. El ensilaje es el método óptimo para conservar forraje durante períodos de escasez, su objetivo principal es producir un alimento que mantenga la mayor parte de la materia seca y los nutrientes del forraje fresco. Esta práctica permite a los productores enfrentar mejor las fluctuaciones estacionales y garantizar una alimentación adecuada para el ganado, promoviendo así la sostenibilidad tanto económica como ambiental de la producción ganadera.

El pasto kikuyo es un forraje ampliamente empleado en varios países con clima subtropical como base de la alimentación del ganado productor de leche, además de que se considera una fuente de alimentación económica a disposición de los productores, y en los Valles Altos del Centro de México se encuentra ampliamente distribuido y naturalizado.

El ensilado de pasto kikuyo ha sido ampliamente utilizado y evaluado en algunos países; sin embargo, se carece de estudios en México para su uso en la alimentación del ganado durante la época seca de invierno-primavera. La realización de este estudio es crucial, ya que sus resultados tendrán un impacto significativo en el desarrollo agropecuario, no solo a nivel estatal, sino también nacional, al proporcionar información vital para mejorar las prácticas ganaderas.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El uso de aditivos afecta la composición química del ensilado de kikuyo?

V. HIPÓTESIS

No existe efecto en el uso de aditivos sobre la composición química del ensilado de kikuyo.

VI. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto del uso de aditivos sobre la composición química del ensilado de kikuyo.

Objetivos específicos

- Evaluar la composición química del pasto kikuyo ensilado en cuanto a materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) con el uso de aditivos (melaza, inóculo bacteriano o su combinación).

VII. MATERIAL

Para este estudio se usará pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) procedente del bordo “Las Maravillas”, ubicado en el Campus “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). No se someterá a ningún tipo de fertilización ni control de malezas.

VIII. MÉTODO

Se hizo la medición previa del pasto midiendo 55 alturas con un pastómetro (medidor de plato ascendente para altura de las praderas). La cosecha del forraje se realizó el 26 de agosto de 2023 con tijeras de podar, cortando a 5 cm del suelo, en un tramo de 40 m². El pasto no fue rebrote, se realizó con la masa existente el día de la muestra, de crecimiento primario a partir del inicio de la época de lluvias de verano.

El mismo día de corte, el forraje fue picado con una picadora estática de forraje de laboratorio para obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 5 cm, posteriormente se realizaron silos de laboratorio en tubos de PVC con capacidad de 2.5 L, y en cada tubo se introdujeron 2.2 kg de forraje en fresco, siguiendo la metodología descrita por Sainz-Ramírez *et al.* (2020). Se elaboraron un total de 20 microsilos de laboratorio, divididos por tratamiento, con 5 repeticiones para cada tratamiento. Se registró del peso del forraje ensilado al momento de su elaboración e inmediatamente después de la apertura de los silos a los 28 días.

Tratamientos

Se dividió el total del material que se cosechó en cuatro alícuotas de aproximadamente 11 kg cada una. Luego se agregaron los aditivos manualmente según el procedimiento establecido.

- A. Inoculante bacteriano (I) Biosile®, compuesto por bacterias lácticas *Pediococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum*, en la dosis recomendada de 1×10^5 ufc/g de forraje, según las indicaciones del fabricante.
- B. Melaza (M) a una dosis de 5% de peso total del forraje fresco.
- C. El inoculante más melaza (I/M), en las proporciones anteriormente descritas.
- D. Testigo sin aditivo (C).

Análisis químico

Las muestras del ensilado se secaron en una estufa de a 55°C hasta alcanzar peso constante y determinar el contenido de materia seca (MS). Posteriormente, se molieron en un molino Pulvex y pasadas por un tamiz de 1 mm para obtener una granulometría uniforme y homogénea, conforme al procedimiento establecido (Elshereef *et al.*, 2020).

Las muestras fueron sometidas a análisis para determinar cenizas (CN) mediante incineración a 550°C (según AOAC, 1990), proteína cruda (PC) mediante el método de Kjeldahl (calculado como $N \times 6.25$), fibra detergente neutro (FDN) con adición de alfa-amilasa y fibra detergente ácido (FDA), según la metodología de Van Soest *et al* (1991). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó mediante la técnica de microbolsa (Ankom Technology, 2005) con líquido ruminal en un fermentador Ankom Daisy con líquido ruminal obtenido por sonda nasogástrica de tres vacas lecheras donantes.

El pH del ensilado se midió utilizando un electrodo de pH (marca Oakton, modelo pH 510 Series) para evaluar su calidad y estabilidad durante el proceso de fermentación. Pérdidas de materia seca y efluentes se calcularon por diferencia mediante el método específico según Jobim *et al.* (2007).

Análisis fúngico

Como un indicador de la calidad del ensilado se hizo un conteo de hongos por colonias encontradas. El conteo del número de colonias de hongos se realizó una vez se abrieron los microsilos, se contó por microsilos a través de un conteo visual. El tamaño de las colonias se realizó igualmente por microsilos, midiendo con una regla graduada el diámetro de las colonias en centímetros.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con un diseño totalmente aleatorio, con 4 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento, teniendo como variables MS, MO,

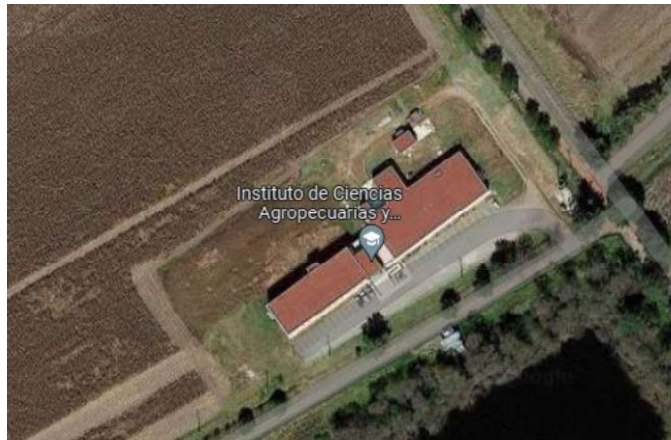
FDN, FDA, PC, DIVMS, pH, número de colonias, tamaño de colonias y efluentes (expresando los efluentes en ml/100gr de masa forrajera ensilada), según lo establecido por Kaps y Lamberson (2004).

IX. LÍMITE DE ESPACIO

Localización

El estudio se llevó a cabo en época de lluvias. El corte de la materia prima se llevó a cabo con el pasto Kikuyo ubicado en el Bordo “Las Maravillas”, con coordenadas 19.407910, -99.691806; ubicado en el Cerrillo Piedras Blancas, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de México.

Se elaboraron cinco silos de laboratorio (microsilos) por tratamiento (siendo un total de 20 microsilos). El proceso de ensilaje y de análisis químicos se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), ubicado en El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.



X. LÍMITE DE TIEMPO

Se realizaron los 20 microsilos inmediatamente después del corte del pasto kikuyo; y el proceso de fermentación se evaluó a los 28 días posteriores a la elaboración de los microsilos

El desarrollo completo del trabajo aquí reportado se llevó a cabo del 1° de abril de 2023 al 15 de julio de 2024.

Cronograma

| Actividad | Fecha |
|---|------------------|
| Revisión de literatura, y entrenamiento en técnicas de laboratorio. | 1 de abril |
| Corte del pasto | 19 de agosto |
| Elaboración de los microsilos | 26 de agosto |
| Apertura de microsilos | 27 de septiembre |
| Secado de muestras | 27 de septiembre |
| Molido de muestras | 27 de septiembre |
| Inicio de análisis de laboratorio | 27 de septiembre |
| Termino de análisis de laboratorio | 10 de noviembre |
| Análisis e interpretación de resultados | 15 de noviembre |
| Redacción de tesis | 16 de noviembre |
| Finalización del trabajo escrito | 15 de julio |

XI. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la composición química del ensilado de kikuyo usando diferentes aditivos.

. **Tabla 1. Composición química (g/kg MS) del ensilado de kikuyo**

| Variable | Materia seca | Materia orgánica | FDN | FDA | PC | DIVMS |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Control</i> | 176.69 ^b | 853.55 ^{ab} | 697.44 ^a | 308.74 ^a | 128.03 ^a | 640.63 ^b |
| <i>Inóculo</i> | 170.13 ^b | 850.43 ^b | 702.48 ^a | 326.55 ^a | 108.33 ^b | 626.93 ^a |
| <i>Melaza</i> | 226.18 ^a | 859.24 ^a | 490.09 ^b | 242.53 ^b | 114.33 ^b | 693.15 ^d |
| <i>I/M</i> | 221.53 ^a | 861.01 ^a | 465.63 ^b | 230.51 ^b | 108.75 ^b | 662.07 ^c |
| <i>Media</i> | 198.63 | 856.05 | 588.91 | 277.88 | 114.86 | 655.68 |
| <i>Valor de P</i> | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <i>EEM</i> | 5.92 | 1.32 | 27.4 | 9.77 | 2.10 | 4.44 |

I/M: Inóculo con melaza. FDN: fibra detergente neutro. FDA: fibra detergente ácida. PC: proteína cruda. DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca. EEM: error estándar de la media. ^{a,b,c} por columna P≤0.01

En la Tabla 1 los resultados muestran que existen diferencias significativas (P<0.01) en el contenido de MS según el aditivo usado, donde la media de los ensilados control e inóculo fue de 173.41g/kg MS, mientras que el promedio de los ensilados de inóculo con melaza y melaza fue de 223.85g/kg MS, obteniéndose el mayor resultado con la melaza (28% mayor en comparación a los ensilados control). Como se verá más adelante, el mayor contenido de MS en los tratamientos con melaza se debió a la mayor cantidad de efluentes (Tabla 2).

Se encontraron diferencias significativas (P<0.01) en cuanto al contenido de MO, ya que la media de los ensilados de melaza y melaza con inóculo fue 860.25g/kg MS, mientras que la media de los ensilados control e inóculo fue 851.99 g/kg MS, donde el mayor el contenido de MO está en los ensilados realizados con inóculo y melaza, siendo 0.9% mayor, comparándose con los ensilados control, de igual forma, está relacionado con la producción de efluentes (Tabla 2).

En los resultados para FDN se hallaron diferencias significativas ($P < 0.01$), se presentó una media de 699.96g/kg MS en los ensilados control e inóculo, mientras que en los ensilados de melaza y melaza con inóculo se tuvo una media de 477.86 g/kg MS donde la cantidad menor se encuentra en el tratamiento de melaza con inóculo, siendo 34.5% menor a comparación de los ensilados control. Para FDA se encontraron igualmente diferencias significativas ($P < 0.01$) según el aditivo usado, la media de los ensilados control e inóculo fue de 317.65g/kg, mientras que de los ensilados melaza y melaza con inóculo fue de 236.52g/kg MS; teniendo la cantidad menor en los ensilados de melaza con inóculo (25.3% menor comparándose con los ensilados control).

También se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) para contenido de PC, donde la mayor cantidad se encontró en los ensilados control con 128.03 g/kg MS, mientras que la media de los ensilados inóculo, melaza y melaza con inóculo fue de 110.47 g/kg MS, comparándose el resultado de los ensilados control y con el tratamiento con inóculo, este fue 15.4% menor. La pérdida de nutrientes se ve afectada por la producción de efluentes (ver Tabla 2).

En el caso de la DIVMS se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos ($P < 0.01$), donde el menor resultado se vio en los ensilados de inóculo con 625.96 g/kg MS y el mayor en los ensilados con melaza, con 693.15 g/kg MS, el inóculo siendo 2.3% menor con relación a los ensilados control y los ensilados con melaza tuvieron un valor 8.2% mayor en comparación a los ensilados control.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a pH, la presencia de hongos y pérdidas por efluentes.

Tabla 2. pH, presencia de hongos y pérdidas por efluentes

| <i>Variable</i> | <i>pH</i> | <i>Número de colonias</i> | <i>Tamaño de colonias (cm)</i> | <i>Efluentes (ml/100g)</i> |
|-------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <i>Control</i> | 4.44 ^a | 3.2 | 9.6 ^{ab} | 0.82 ^b |
| <i>Inóculo</i> | 3.29 ^b | 2.6 | 9.0 ^{ab} | 0.73 ^b |
| <i>Melaza</i> | 3.67 ^b | 2.2 | 4.1 ^b | 3.41 ^{ab} |
| <i>I/M</i> | 3.67 ^b | 4.0 | 18.3 ^a | 5.64 ^a |
| <i>Media</i> | 3.76 | 3.00 | 10.25 | 2.65 |
| <i>Valor de P</i> | 0.000 | 0.449 | 0.033 | 0.002 |
| <i>EEM</i> | 0.0916 | 0.404 | 1.83 | 13.3 |

I/M: Inóculo con melaza. EEM: Error estándar de la media. ^{a,b,c} por columna $P \leq 0.05$

En la Tabla 2 los resultados muestran que existen diferencias significativas ($P < 0.01$) en el pH según el aditivo usado. Se tuvo una media de 3.54 en los ensilados inóculo, melaza y melaza con inóculo. El valor de pH significativamente mayor fue en los ensilados control, no existiendo diferencias en el pH de los ensilados con los aditivos evaluados.

En cuanto al número de colonias no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$); sin embargo, los resultados para el tamaño de colonias sí presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), hallándose las más grandes en los ensilados del tratamiento I/M (siendo 90.62% mayores a comparación de las encontrados en los ensilados control).

Finalmente, en el caso de los efluentes, se hallaron diferencias significativas ($P < 0.01$), con una media en los ensilados control e inóculo de 0.78 ml/100g contra una media mayor en los ensilados de melaza y melaza con inóculo de 4.53 ml/100g,

de melaza e inóculo con melaza, el primero siendo 507% mayor al del control, mientras que el segundo fue 588% mayor.

XII. DISCUSIÓN

En Costa Rica, Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2022) registraron resultados de MS mayores a los aquí mencionados (207g/kg) en ensilado de pasto kikuyo usando inoculante bacteriano comercial, lo cual puede deberse a que, en el trabajo de esos autores, la elaboración del ensilado se realizó con kikuyo con 90 días de rebrote y se realizó pre-marchitado, que en el trabajo aquí reportado no se realizó.

Figueiredo *et al.* (1994), en Sudáfrica, obtuvieron valores de 380 g/kg de MS, en ensilado de pasto kikuyo, los cuales son mayores a los de este trabajo, debido al clima de la región de Sudáfrica donde se llevó a cabo y los métodos usados para secar y pre-marchitado el forraje. Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023) en Colombia, al ensilar pasto kikuyo obtuvieron valores de 279 g/kg de MS en los ensilados control, dada la edad de rebrote (70 días), 243 g/kg de MS cuando el tamaño de partícula fue de 1.5 cm y 259 g/kg de MS con seis horas de oreo para el pasto, todos estos valores, siendo mayores a los encontrados en este trabajo.

Mühlbach (2001) mencionó que la incorporación de ingredientes ricos en azúcares fácilmente fermentables, como azúcar o melaza, a forrajes tropicales con bajo contenido de MS y azúcares, mejora la fermentación del ensilaje; sin embargo, también mencionó que cuando un forraje es bajo en MS, el aditivo puede perderse en forma de efluente, así como ocasionar pérdida de nutrientes, como PC, esto dado a la característica higroscópica de la melaza, la cual extrae la humedad de la masa generando efluentes.

Sainz-Ramirez *et al.* (2023) mencionaron que los niveles de pérdidas de MS en los ensilados varían según el tipo de forraje y la concentración de MS, donde usar aditivos puede generar cambios en la pared celular y modificar su capacidad en la retención de agua. Los ensilados con MS menor a 200 g/kg pueden presentar pérdidas de hasta en 30% de MS, perdiendo fracciones digestibles, por lo que su valor nutricional disminuye.

Marais (2001) en Sudáfrica destacó la importancia de un suelo rico en nitrógeno para que el kikuyo tenga niveles adecuados de MS. Titterton y Bareeba (2001)

mencionaron que ensilar forrajes con contenidos menores a 300 g/kg de MS crean un ambiente más propicio para la aparición de clostridios que deterioran la calidad del ensilado, por ende, pre-marchitar los forrajes es de una práctica útil antes de realizar un ensilado.

Por su parte Martínez-Fernández *et al.* (2014) refieren que los forrajes con 150 g/kg de MS pueden tener pérdidas en efluentes que pueden equivaler al 10% de pérdida de MS y una pérdida de entre el 8 y 20% de los aditivos; sin embargo, cuando la MS aumenta a 250g/kg, las pérdidas por efluentes pueden ser prácticamente inexistentes.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2022) en Costa Rica comunicaron resultados similares por en los ensilados control y los ensilados adicionados con inoculantes en ensilado de kikuyo. Estos autores mencionaron que sus resultados fueron mayores que en el kikuyo pre-ensilado por la sustitución de nutrientes por los ingredientes de los inóculos, la degradación de diversos componentes químicos durante el proceso de ensilaje o la contaminación por partículas del suelo que pudiesen quedar al momento de la cosecha del pasto.

Por su parte, Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero (2016), en Costa Rica en ensilado de pasto kikuyo, obtuvieron contenidos de MO de 884.7 g/kg para ensilados adicionados con melaza, 885.3 g/kg para los ensilados con maíz molido y 883.5 g/kg para los ensilados con pulpa de cítricos, los tres resultados siendo mayores a los obtenidos en el presente trabajo, mencionando que dichos resultados pueden deberse a la edad del rebrote y su estado fenológico, aunado a los componentes propios de los aditivos usados. Los mismos autores obtuvieron valores de 774.8 g/kg de FDN en sus ensilados elaborados con melaza, de igual forma, los ensilados elaborados con maíz molido y pulpa de cítricos como aditivos presentaron valores altos, 795.1 g/kg MS y 790.7 g/kg MS respectivamente, los cuales son mayores comparados a los ensilados elaborados con melaza en este trabajo y a los demás ensilados de este trabajo; los autores antes mencionan atribuyen estos resultados a la edad del rebrote y el estado fenológico del kikuyo.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016) en Costa Rica, obtuvieron resultados de 633.6 g/kg de MO con pasto picado y 618.7 g/kg para el pasto sin picar (resultados que son menores a los ensilados control en el presente trabajo), ambos realizados con kikuyo maduro cosechado a los 90 días de rebrote, lo cual explicaría los resultados altos para FDN. Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023) en Colombia, obtuvieron resultados de 577 g/kg de FDN para sus ensilados sin aditivos, elaborados con rebrote de 28 días, 588 g/kg para los elaborados con 42 días de rebrote y 619 g/kg para los elaborados a 70 días de rebrote, ilustrando el aumento en el contenido de FDN conforme madura el pasto. Según el tamaño de picado obtuvieron resultados de contenido de FDN 576 g/kg, 588 g/kg y 592 g/kg de MS para 1.5cm, 3cm y la planta completa respectivamente, todos los anteriores resultados son menores a los del ensilado control de este trabajo; constatando que, a mayor madurez del forraje, aumentan los componentes de la pared celular.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016) en Costa Rica, registraron resultados de 337.3 g/kg para FDA en los ensilados con pasto picado y 330.5 g/kg para el pasto sin picar, ambos usando kikuyo a los 90 días de rebrote, siendo mayores a los resultados en los ensilados de este trabajo. Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero (2016) en Costa Rica, en sus ensilados realizados con melaza obtuvieron 392.2 g/kg de FDA, resultados que son mayores a los registrados en este trabajo, argumentando que esos resultados están relacionados con la edad del rebrote y el estado fenológico de la planta.

Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023) en Colombia encontraron resultados de 324 g/kg de FDA para los microsilos realizados con 28 días de rebrote, al igual que para sus resultados de FDN, este valor aumenta en conjunto con la edad de rebrote; hallaron un 336 g/kg de FDA en su ensilado sin aditivos; e igual que en sus resultados anteriores, al aumentar el tamaño de la partícula obtuvieron resultados mayores de FDA, siendo el mayor 337g/kg, usando la planta completa, estos resultados son mayores a los de FDA del presente trabajo; como se mencionó anteriormente, los pastos con mayor madurez presentan aumento en los componentes de su pared celular y disminución en la digestibilidad, por ende, estos

experimentos presentan altos contenidos en FDN y FDA. Marais (2001) en Sudáfrica, menciona que altas temperaturas ambientales aumentan la maduración del kikuyo, lo que conlleva a un aumento en el contenido de FDN y FDA.

Autores como McDonald *et al.* (1991), Kung y Muck (1997) y Muck (1988) en Estados Unidos, mencionaron que la disminución de FDN y FDA en los ensilados se puede modificar por la acción de los aditivos, tales como los inoculantes y melaza, ya que degradan los carbohidratos complejos que componen la pared celular de la planta y estos se convierten en azúcares más simples que luego son fermentados por los microorganismos, también mencionan que la melaza al ser rica en azúcar promueve la acción de las BAL, lo que disminuye el pH y ocasiona una ruptura en los componentes fibrosos, de esta forma, disminuyendo FDN y FDA; aunado a un efecto de dilución ocasionado por el bajo contenido de fibra en la melaza. Mientras que Thomas-Moen *et al.* (2014) en Estados Unidos, mencionaron que inóculos bacterianos que contienen bacterias tales como *Lactobacillus buchneri* y *L. plantarum* pueden promover la degradación de fibra en ensilados de forraje de grano pequeño.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016) en Costa Rica, obtuvieron resultados de 150.7 g/kg de PC para el pasto kikuyo picado y 144 g/kg para el pasto kikuyo sin picar, en microsilos de kikuyo realizados a los 90 días de rebrote, resultados que son mayores a los presentados en este trabajo, explicando que el tamaño de la partícula no interviene en esta variable. Sin embargo, mencionaron que este alto contenido de PC se debe al aporte de nutrientes del inóculo artesanal, que incluyó leche agria, suero de leche y melaza.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2022) también en Costa Rica obtuvieron resultados de 87 g/kg de PC en sus ensilados de kikuyo realizados con inóculo comercial y 83 g/kg de PC en sus ensilados control, realizados a los 90 días de rebrote. Ambos resultados son menores a los de los ensilados realizados con inóculo en este trabajo. Figueiredo *et al.* (1994) en Sudáfrica, encontraron resultados de 120 g/kg de PC, los cuales son similares a los resultados de los

ensilados control de este trabajo, explicando que estos resultados se deben al nivel de nitrógeno usado para fertilizar el pasto.

Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023), en Colombia, encontraron en sus ensilados control 124 g/kg de PC, según la edad de rebrote obtuvieron 139 g/kg de PC a los 28 días, 137 g/kg a los 42 días y 102 g/kg a los 70 días; según el tamaño del picado obtuvieron resultados de 140 g/kg cuando la partícula es de 1.5cm y 118 g/kg cuando se mantuvo la planta completa, los cuales son resultados mayores a los obtenidos aquí.

Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero (2016) en Costa Rica, en ensilados de kikuyo realizados con melaza obtuvieron 82 g/kg de PC, los cuales son menores a los ensilados realizados con melaza de este trabajo. Riofrío-Ullaurí (2008) en Ecuador, en ensilado de pasto kikuyo, obtuvo resultados entre 84.5 g/kg y 89 g/kg de PC en sus ensilados, los cuales son menores a los obtenidos en el presente trabajo.

Titterton y Bareeba (2001), en África, obtuvieron resultados de 93 g/kg de PC para ensilado de maíz puro, el cual es menor al contenido de PC en los ensilados de kikuyo; de igual forma, los mismos autores recomiendan la cosecha temprana de los forrajes, etapa en la cual la proteína y la digestibilidad son mayores y propician la aparición de bacterias ácido lácticas favorables en los ensilados.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016), en Costa Rica, obtuvieron resultado de 461.5 g/kg para DIVMS, cuando la partícula del forraje para el ensilado de kikuyo fue picada y 483.5 g/kg cuando este no fue picado, los cuales son resultados menores a los obtenidos en el trabajo aquí reportado, argumentando que la baja digestibilidad es ocasionada por la alta humedad de los ensilados y que está estrechamente relacionada con un mayor contenido en los componentes de la pared celular y la ruptura de estos. Mühlbach (2001) en Brasil, mencionó que existe un aumento en la DIVMS en los pastos cuando a estos se les adiciona melaza. Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016) en Costa Rica, mencionaron que ensilados de kikuyo con una DIVMS entre 460 g/kg y 650 g/kg pueden llenar la mayor parte de los requerimientos nutricionales del ganado lechero.

Se obtuvieron resultados similares en pH de los ensilados en los microsilos control de Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023) en Colombia, y los presentados en este trabajo para el tratamiento control. Sin embargo, según la edad de rebrote del kikuyo en el trabajo de estos autores, se obtuvieron resultados de pH de 4.34, 4.37 y 5.11 para 28, 42 y 70 días de rebrote, los cuales son similares a los del presente trabajo a excepción del de 70 días de rebrote, el cual es mayor.

Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero (2016) en Costa Rica, obtuvieron resultados de 5.67 de pH para el pasto kikuyo picado, el cual es mayor comparado a los resultados del presente trabajo. Por su parte, Figueiredo *et al.* (1994) en Sudáfrica, encontraron resultados de 5.54 para pH en ensilados de pasto kikuyo, los cuales son mayores a los encontrados en este trabajo. Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero (2016) en Costa Rica, en los ensilados realizados con melaza obtuvieron un pH de 4.5 y tuvieron una media de 4.62, sus resultados son mayores a los obtenidos en este trabajo. Titterton y Bareeba (2001) en África, mencionan que los ensilados de maíz en conjunto con alguna leguminosa obtienen valores aceptables de pH, los cuales se encuentran entre 3.7 y 4.5, rangos en los que se encuentran los ensilados del presente trabajo.

Al igual que en los ensilados con melaza aquí realizados, Boschini-Figueroa y Pineda-Cordero (2016) en Costa Rica, hallaron que la mayor cantidad de efluentes se producen en los microsilos adicionados con melaza y una ligera cantidad de hongos en el mismo. Según Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2023) en Colombia, el uso de inóculo y glicerina como aditivos, así como un menor tamaño de partícula, pueden disminuir las pérdidas por efluentes. Kaiser *et al.* (2000) en Australia, registraron que pre-marchitar el pasto kikuyo contribuye positivamente a la disminución de pérdidas por efluentes del ensilado.

McDonald *et al.*, (2011) en Estados Unidos, destaca que alcanzar rápidamente un pH ácido menor a 4.0 en un ensilado es clave para asegurar la estabilidad de un ensilado, minimizando la pérdida de nutrientes debido a fermentaciones secundarias y la contaminación por bacterias y hongos. Mionetto-Cabrera (2017) en Uruguay, menciona que un pH de 4 puede inhibir el crecimiento microorganismos,

sin embargo, al encontrar medios lo suficientemente húmedos, estos pueden proliferar, así mismo la presencia y diámetro de los hongos está determinada por factores como la temperatura, pH, condiciones propias del forraje, Martínez-Fernández *et. al.* (2014) en España y Mionetto-Cabrera (2017) en Uruguay, concuerdan que uno de los factores más importantes en la aparición de hongos es la presencia de oxígeno en el ensilaje.

Sainz-Ramirez *et. al.* (2023) mencionan que adicionar inoculante a los ensilados generalmente no tiene algún efecto sobre la composición química de estos, sin embargo, esto puede depender del tipo de forraje y de si se adiciona algún otro aditivo aunado al inoculante.

XIII. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el uso de aditivos sí tiene un efecto significativo sobre la composición química de los ensilados, rechazando así la hipótesis nula planteada anteriormente.

El uso de aditivos en los ensilados tuvo efecto en la composición química de los ensilados, principalmente en el contenido de materia seca, pH, materia orgánica, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y proteína cruda. Por otra parte, también se vieron afectadas las características del ensilado, principalmente en la producción de efluentes y el tamaño de las colonias de hongos.

La melaza con inóculo y la melaza sola como aditivos en el ensilado de kikuyo tienen efectos en cuanto a FDN y FDA, ya que los disminuyeron, lo cual significa que existiría una mejor digestibilidad de los componentes. Sin embargo, estos resultados contrastan con la mayor cantidad de efluentes que representó una pérdida de nutrientes del pasto. Lo anterior, ya que en los tratamientos con melaza sola e inóculo con melaza como aditivos se aumentó la producción de efluentes; mientras que el tratamiento control y el tratamiento solamente con inóculo tuvieron menor cantidad de efluentes. El inóculo y la melaza también aumentaron la cantidad y el tamaño de las colonias de hongos.

Igualmente, el uso de aditivos redujo el contenido de PC en comparación con el tratamiento control, y si bien la adición de melaza sola o con inóculo bacteriano aumentó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, existió en estos tratamientos una pérdida de nutrientes por el mayor volumen de efluentes.

Por lo tanto, se concluye que a partir de los resultados obtenidos no existe una ventaja en el uso de aditivos como inóculo bacteriano, melaza o la combinación de melaza con inóculo en la calidad y la conservación de ensilado de pasto kikuyo.

XIV. SUGERENCIAS

El ensilado de kikuyo puede ser una alternativa de alimentación para los sistemas de producción de leche a pequeña escala en el Estado de México al tener una composición química que puede mantener la producción de leche, sin embargo, se requieren estudios con animales para evaluar el desempeño productivo dado que no hay reportes de su uso en México.

Basándonos en los resultados, se sugiere realizar estudios futuros sobre ensilados de pasto kikuyo que consideren aspectos como la edad de la planta, la fertilización con nitrógeno, el drenaje del suelo, la época de cosecha y también es importante considerar la evaluación de un pre-marchitado del forraje; ya que estos factores influyen sobre la calidad de los ensilados y en la posible respuesta animal.

XV. LITERATURA CITADA

Acero-Camelo, R. A. (2019). Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté. Universidad Nacional de Colombia.

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

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

Apráz Guerrero, J. E. (2020). Análisis Químico De Alimentos Para Animales. Editorial Universidad de Nariño.

Avellaneda-Avellaneda, Y., Castillo-Sierra, J., Mancipe-Muñoz, E. A., y Vargas-Martínez, J. de J. (2023). Factores que afectan la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Agronomía mesoamericana: órgano divulgativo del PCCMCA, Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales. <https://doi.org/10.15517/am.2023.53394>

Avilés Ruíz, R., Barrón Bravo, O. G., Gutiérrez Chávez, A. J., y Ruiz Albarrán, M. (2024). Principales sistemas de producción de leche en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. Ciencias Veterinarias y Producción Animal, 32–47. <https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.16>

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>

Boschini-Figueroa, C., y Pineda-Cordero, L. (2016). Ensilaje de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* o *Kikuyuocloa clandestina*) fermentado con tres aditivos. Agronomía mesoamericana: órgano divulgativo del PCCMCA, Programa Cooperativo

Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales, 27(1), 49.
<https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21877>

Conde, C. (2011). México y el cambio climático global. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

De Figueiredo, M. C. V., Stewart, I. B., y Botha, W. A. (1994). Performance of beef weaners on kikuyu silage supplemented with maize meal alone and in combination with protein of low degradability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(2), 133–137. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740660205>

Elshereef, A. A., Arroyave-Jaramillo, J., Zavala-Escalante, L. M., Piñeiro-Vázquez, A. T., Aguilar-Pérez, C. F., Solorio-Sánchez, F. J., y Ku-Vera, J. C. (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(4), 135–144. <https://doi.org/10.17221/256/2019-cjas>

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.

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-Molina, A. M., Roa, L. B., Alzate, S. R., de León, J. G. S., y Arango, A. F. B. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 66–71.

Griffiths, N., y Beale, P. (2021). Kikuyu Silage. State of New South Wales published by Local Land Services.

Hernández-Esquivel, S. A., Martínez-Arellano, I., y Córdova-Aguilar, M. S. (2023). Métodos para evaluar la biodisponibilidad, la bioaccesibilidad y el valor nutricional de suplementos alimenticios. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8, 564–571.

Hernández-Mendo, O., Pérez-Pérez, J., Martínez-Hernández, P. A., Herrera-Haro, J. G., Mendoza-Martínez, G. D., y Hernández-Garay, A. (2000). PASTOREO DE KIKUYO (*Pennisetum clandestinum* Hochts.) POR BORREGOS EN CRECIMIENTO A DIFERENTES ASIGNACIONES DE FORRAJE. *AGROCIENCIA*, 34(2).

INECC. (2018). Efectos del cambio climático. gov.mx. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., y Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl), 101–119. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982007001000013>

Kaiser, A. G., Piltz, J. W., Havilah, E. J., y Hamilton, J. F. (2000). Poster 4.4: Kikuyu grass composition and implications for silage production. FAO. <https://www.fao.org/3/X8486E/x8486e0g.htm>

Kaps, M. and Lamberson, W. (2004). *Biostatistics for Animal Science*. Cromwell Press, Trowbridge, UK.

Kung, L., & Muck, R. E. (1997). Animal response to silage additives. *Silage: Field to Feedbunk, NRAES-99*, 200-210.

Loera, J., y Banda, J. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(1), 419–426. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.317>

Marais, J. P. (2001). Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review. *Tropical Grassland*, 35(2), 65–84.

Marín-Santana, M. N., López-González, F., Hernández-Mendo, O., y Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1919–1926. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>

Martínez-Fernández, A., Gutiérrez, A. A., y de la Roza Delgado, B. (2014). Manejo de Forrajes Para Ensilar. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias.

Martínez-García, G., y Rayas-Amor, A. A. (2022). Sistemas de producción de leche en pequeña escala, una opción de desarrollo rural. *Revista Universitaria*, Universidad Autónoma del Estado de México.

Martinez-Viloria, F. (2020). Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Pastos y Forrajes. <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo-de-clima-frio/pasto-kikuyo-pennisetum-clandestinum/>.

McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications.

McDonald, P., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Edwards, R., Sinclair, L., y Wilkinson, R. (2011). *Animal Nutrition* (7a ed.). Benjamin Cummings.

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.

Mojica, J. E., Castro, E., León, J. M., Cárdenas, E. A., Pabón, M. L., y Carulla, J. E. (2009). Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), Juan Evangelista.

Muck, R. E. (1988). Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal of Dairy Science*, 71(11), 2992-3002.

Mühlbach, P. R. F. (2001). Estudio 9.0 - Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. FAO. <https://www.fao.org/4/x8486s/x8486s0b.htm>

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

Ojeda-Carrasco, J. J., Rueda-Quiroz, L. D., Hernández-García, P. A., y Espinosa-Ayala, E. (2020). Caracterización del sistema de producción de leche en pequeña escala de la zona suroriente del Estado de México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 17(2), 201–215. <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i2.1342>

Orozco-Hernández, M. E., Tapia-Quevedo, J., Míreles-Lezama, P., Vera-Bolaños, M. G., García-Fajardo, B., y Álvarez-Arteaga, G. (2015). Desarrollo agropecuario y variación climática en el Estado de México. *Quivera*, 17(1), 99–119.

Oude-Elferink, S.J.W.H., Driehuis, F., Gottschal, J. C., Spoelstra, S. F. (2001). Estudio 2.0 – Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación – FAO.org. <https://www.fao.org/3/X8486s/x8486s04.htm>

Perdomo-Roldán, F., y Pichardo, J. M. (23 de agosto de 2009). Pennisetum clandestinum - ficha informativa. CONABIO.gob.mx. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/pennisetum-clandestinum/fichas/ficha.htm>

Piltz, J. W., Meyer, R. G., Brennan, M. A., & Boschma, S. P. (2022). Fermentation quality of silages produced from wilted sown tropical perennial grass pastures with or without a bacterial inoculant. *Agronomy*, 12(7), Article 1721. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071721>

Plata-Reyes, D. A., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Flores-Calvete, G., López-González, F., Prospero-Bernal, F., Valdez-Ruiz, C. L., Zamora-Juárez, Y. G., y Arriaga-Jordán, C. M. (2018). Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy

systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8), 1797–1805. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>

Plata-Reyes, Dalia Andrea, Hernández-Mendo, O., Vieyra-Alberto, R., Albarrán-Portillo, B., Martínez-García, C. G., y Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Kikuyu grass in winter–spring time in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico in terms of cow performance and fatty acid profile of milk. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02672-9>

Plata-Reyes, Dalia Andrea, Martínez-García, C. G., Hernández-Mendo, O., y Arriaga-Jordán, C. M. (2023). Dynamics of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) pastures associated with white clover (*Trifolium repens*) in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range y Forage Science*, 40(4), 335–347. <https://doi.org/10.2989/10220119.2022.2144946>

PROAIN. (2020). Que es el ensilaje y cual es el proceso de elaboración. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/que-es-el-ensilaje-y-cual-es-el-proceso-de-elaboracion>

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>

Reyes Sánchez, N., y Mendieta, B. (2000). Determinación del valor nutritivo de los alimentos. Facultad de Ciencia Animal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3125/1/nq04r457.pdf>

Riofrío Ullauri, G. L. (2008). Elaboración de ensilaje a base de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), cortado en área urbana. Trabajo de Graduación de Ingeniero Agropecuario, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Ecuador.

Robledo-Padilla, R. (2018). PRODUCCIÓN DE LECHE EN MÉXICO Y SU COMERCIO DE LÁCTEOS CON PAÍSES DEL APEC. Unam.mx. <https://ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf>

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., y Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

SAGARPA - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2012). MÉXICO: EL SECTOR AGROPECUARIO ANTE EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Sainz-Ramírez 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-Ramírez, A., Estrada-Flores, J. G., Velarde-Guillén, J., López-González, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (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.

Thomas-Moen, M. E., Foster, J., McCuiston, K., Duncan, R. W., Redmon, L., Franks, A. M., Jessup, R., & Olson, V. A. (2014). Inoculants to enhance the ruminal degradation of small-grain forage. *Forage and Grazinglands*, 12, 1-7. <https://doi.org/10.2134/FG-2014-0006-RS>

Titterton, M., y Bareeba, F. B. (2001). Estudio 4.0 - Ensilaje de gramíneas y leguminosas en los trópicos. [fao.org. https://www.fao.org/3/x8486s/x8486s06.htm](https://www.fao.org/3/x8486s/x8486s06.htm)

Turrentine, J., y Melissa, D. (2021). What is climate change? Nrdc.org.
<https://www.nrdc.org/stories/what-climate-change>

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. <https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0>

Villalobos-Villalobos, L., & Arce-Cordero, J. (2016). Efecto del picado sobre las características nutricionales y fermentativas de ensilajes de pastos Kikuyo, Ryegrass perenne y Alpiste forrajero. *Agronomía Costarricense*, 40(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25331>

Villalobos-Villalobos, L. A., & Arce-Cordero, J. A. (2022). Effects of commercial and farm-made inoculants on the chemical composition and fermentation of kikuyu grass silages. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 8(1). [https://doi.org/10.1002/cft2.20159302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.1002/cft2.20159302(91)78551-2)