



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

Subdirección de Posgrado e Investigación

Maestría en Producción Pecuaria Tropical

TESIS

**“Características nutricionales, producción de metano y dióxido de
carbono de forrajes de corte”**

PRESENTA

Mayra Sánchez Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Armando Arrieta González

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. José Isidro Alejos De La Fuente

TANTOYUCA, VERACRUZ

Agosto 2025



DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo personal en culminar mi trabajo de grado, especialmente a mi madre quien ha sido el pilar de mi crecimiento personal y profesional. Este trabajo es resultado de mi compromiso y pasión por mi carrera académica que ha generado una gran satisfacción personal.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mi camino y fortalecer mi espíritu en cada paso de este viaje académico

A la Universidad Autónoma Chapingo, por apoyo de instalaciones, equipo y reactivos de laboratorio.

A mi director de tesis, doy gracias por la paciencia y compromiso para el desarrollo de este proyecto, esta tesis es un testimonio de su guía experta y amable.

Al Dr. José Isidro Alejos de la Fuente por haber aceptado ser mi asesor en esta investigación y permitirme adquirir conocimientos que complementen mi formación profesional.

Agradezco a mi madre, por siempre estar presente en cada uno de los logros de mi carrera y por siempre ser el apoyo incondicional y mi fortaleza en cada uno de mis proyectos de vida.

A Jhonatan que fue un gran apoyo en el desarrollo de esta investigación, agradezco su empatía, por siempre creer en mis capacidades y por siempre impulsarme a lograr cada una de mis metas, por ser mi fiel compañero en cada proyecto de vida, y por alcanzar este logro juntos.



RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la edad de corte en variables nutricionales, digestibilidad y actividad metanogénica de cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (Maralfalfa, Taiwan, Roxo y CT-115). La investigación fue desarrollada en el rancho ganadero el Pénjamo de la localidad El Coyol Santa Clara, municipio de Tantoyuca, Veracruz. El establecimiento de los materiales evaluados se realizó en octubre de 2022, para la preparación del terreno solo se usó arado y rastra sin agregar agroquímicos, fertilizantes u abonos orgánicos. Se establecieron 24 parcelas, de 23 m² (4.8 m x 4.8 m), con 80 cm de separación entre surco y macollo. Las accesiones Maralfalfa, Taiwán, Roxo y CT-115, también la edad de 60, 90 y 120 días fueron asignadas como tratamiento. Las variables estudiadas fueron digestibilidad *in vitro*, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, proteína cruda, cenizas, sílice, producción de dióxido de carbono y metano. Los datos obtenidos fueron analizados con ANDEVA de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los análisis fueron realizados con el software estadístico Statistica v.10. Existió diferencia estadística ($p < 0.05$) en la variable de digestibilidad, lignina, Fibra detergente Neutra, Proteína y sílice entre las accesiones de *Cenchrus purpureus*. La digestibilidad de CT-115 fue la más alta, sin embargo, el porcentaje de Proteína cruda fue de 7.79 %. El contenido de Proteína cruda fue mayor en Maralfalfa, pero sus indicadores de fibra afectaron la digestibilidad. La edad a 60 días presentó los mejores valores para las variables digestibilidad, contenido de fibra, un mayor contenido de Proteína cruda. Los resultados de producción de gases no demostraron diferencia estadística ($p < 0.05$) entre la edad de corte. Los resultados relacionados con la producción de gases entre accesiones presentaron diferencia estadística ($p < 0.05$). Maralfalfa indicó los valores más bajos de gases. Esto podría estar relacionado al contenido de fibra presente en los pastos, la cual disminuye la actividad de microorganismos en el rumen. Se concluye que la edad de corte presentó efecto positivo en la digestibilidad y el contenido de componentes nutricionales, siendo 60 días la de mejores valores en características nutricionales y menor producción de gases.



ABSTRACT

The objective of this study was to observe the effect of cutting age on the nutritional characteristics, digestibility and methanogenic activity of four accessions of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (Maralfalfa, Taiwan, Roxo and CT-115). The research was carried out on a cattle ranch in El Coyol Santa Clara, in the municipality of Tantoyuca, Veracruz. The establishment of the evaluated materials was carried out in October 2022, where only plowing and harrowing were used for soil preparation, without adding agrochemicals or organic fertilizers. Twenty-four plots were established, each of 23 m² (4.8 m x 4.8 m), with 80 cm separation between furrow and tillers. The accessions Maralfalfa, Taiwan, Roxo and CT-115, as well as 60, 90 and 120 days of age were assigned as treatments. The variables studied were in vitro digestibility, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin, crude protein, ash, silica, carbon dioxide and methane production. The data obtained were analyzed with one-way ANDEVA and Tukey's mean comparison tests ($p < 0.05$). Analyses were performed with Statistica v.10 statistical software. There was a statistical difference ($p < 0.05$) in digestibility, lignin, neutral detergent fiber, protein and silica among the *Cenchrus purpureus* accessions. The digestibility of CT-115 was the highest, however, the percentage of crude protein was 7.79 %. Crude protein content was more relevant in Maralfalfa, but its fiber indicators affected digestibility. The age at 60 days presented the best values for the digestibility variables, fiber content, and a higher crude protein content. The results of gas production showed no statistical difference ($p < 0.05$) between cutting age. The results related to gas production between accessions presented statistical difference ($p < 0.05$). Maralfalfa presented the lowest gas values. This could be related to the fiber content present in the



pasture, which decreases the activity of microorganisms in the rumen. It is concluded that the age of cutting did have a positive effect on digestibility and the content of nutritional components, being the 60-day age the one with the best values in nutritional characteristics and lower gas production.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. Introducción	9
2. Objetivos	11
2.1 General.....	11
2.2 Específicos.....	11
3. Hipótesis	12
4. Marco teórico	13
4.1 Antecedentes.....	13
4.1.1. Cambio climático.....	14
4.1.2 Gases de efecto invernadero.....	15
4.1.3 Dióxido de carbono (CO ₂).....	15
4.1.4 Metano (CH ₄).....	16
4.1.5 Óxido nitroso (N ₂ O).....	17
4.1.6 Temperatura ambiente.....	18
4.1.7 Componente vegetal.....	19
4.1.8 Forraje de corte.....	19
4.1.9 Fisiología digestiva de los rumiantes.....	20
4.1.10 Rumen.....	20
4.1.11 Impacto de la ganadería sobre el cambio climático y producción de gases de efecto invernadero.....	20
4.2 Estado del arte.....	23
5. Metodología	26
5.1 Área y periodo de estudio.....	26
5.2 Clima.....	26
5.3 Tipo de suelo.....	26
5.4 Descripción de los tratamientos.....	28
5.5 Variables de estudio.....	28
5.5.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca.....	28
5.5.2 Dióxido de carbono <i>in vitro</i>	29
5.5.3 Producción de metano.....	30



5.5.4 Cenizas	30
5.5.5 Fibra Detergente Neutro	31
5.5.6 Fibra Detergente Acido, Lignina y Sílice	31
5.5.7 Proteína cruda	32
5.6. Descripción y manejo del objeto de estudio	32
5.6.1 Establecimiento de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	32
5.6.2 Toma de muestras	33
5.6.3 Transporte de muestras al laboratorio.....	33
5.7 Diseño experimental y análisis estadístico	34
6. Resultados y discusión	35
7. Conclusiones	44
8. Recomendaciones	45
9. Literatura citada.....	46
ANEXOS.....	56



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1	Representación de Lewis de la molécula de CO ₂	16
2	Representación de Lewis del metano con una línea por cada par de electrones, compartiendo por el carbono e hidrogeno	16
3	Esquema del proceso de nitrificación en el suelo	18
4	Proceso de desnitrificación del suelo.	18
5	Áreas geográficas de Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave	26
6	Digestibilidad in vitro de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i> .	36
7	Contenido de proteína cruda de <i>Cenchrus purpureus</i> cosechado a 60, 90 y 120 días	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1	Características fisicoquímicas del suelo, en donde se establecieron las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	27
2	Tratamientos de <i>Cenchrus purpureus</i>	28
3	Composición química, fracciones de fibra y digestibilidad de 4 accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	36
4	Contenido de fibra, digestibilidad de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i> .	39
5	Producción de dióxido de carbono y metano por la técnica <i>in vitro</i> de accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	42
6	Producción de dióxido de carbono y metano por la técnica <i>in vitro</i> respecto a las edades de corte.	43



1. Introducción

La ganadería en México es importante para la economía y la alimentación, el país ocupa el 5° lugar de carne en canal a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADR], 2024). Sistemas de producción extensivos e intensivos son los que se realizan en la zonas de la Huasteca Veracruzana, utilizando razas como *Bos Indicus*, *Bos Taurus* y cruza, los productores de esta zona son productores de leche, carne y doble propósito (Chavela y Zavaleta, 2019) sin embargo esta producción se ve afectada por fenómenos como el cambio climático este ocasiona, en la actividad ganadera, problemas de escasez de recursos naturales, pérdida de la biodiversidad y deterioro en la salud de los animales. Éstos últimos relacionados con la disminución de alimentos, la incidencia de plagas, presencia de enfermedades y estrés calórico (Rojas-Downing et al., 2017). Uno de los principales impactos ambientales provocados por el sector agropecuario es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Los principales GEI emitidos desde el sector agropecuario son el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4) (Costantini et al., 2018). Las emisiones de GEI, como el metano entérico del ganado rumiante, se han relacionado con el calentamiento global (Marumo et al., 2023). Como consecuencia el sector ganadero tiene la urgencia de ser más eficiente y sostenible y cumplir con estándares más altos de bienestar animal (Blanco-Penedo et al., 2020). Los forrajes de alta calidad, como plantas jóvenes, pueden disminuir la producción de CH_4 al alterar la vía de fermentación debido a que contienen mayores cantidades de carbohidratos de fácil fermentación y con menos contenido de Fibra detergente neutro (FDN), lo que lleva a una mayor digestibilidad y tasa de pasaje. Por su parte, los forrajes más lignificados inducen a una mayor producción de CH_4 , por presentar una mayor relación carbono-nitrógeno, lo que disminuye la digestibilidad. Diferentes tipos de forraje también pueden afectar la emisión de CH_4 debido a las diferencias en su composición química (Haque, 2018). Sin embargo, la relación que tiene el efecto de la madurez de las plantas no es muy claro en pasturas de zonas tropicales. Otro factor relacionado posiblemente con la producción de gases es la concentración de proteína cruda (Vargas et al., 2012). Pero no hay que olvidar que los pastos son la principal fuente de alimentación y proteína para los rumiantes (Álvarez et al., 2017), las accesiones de



Cenchrus purpureus han demostrado un buen rendimiento independientemente de las condiciones ambientales (Arrieta-González et al., 2024) esto por su gran capacidad de biomasa y su rápido crecimiento y resistencia a condiciones climáticas (Farrell et al., 2002) Sin embargo, aún no existen abundantes estudios de estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero por parte de la ganadería y planificaciones de manejo que mejoren la calidad nutricional de *Cenchrus purpureus* en zonas tropicales donde los efectos de cambio climático son más drásticos y la madurez de los pastos es más acelerada, eso ha servido de interés para el desarrollo de esta investigación con el objetivo de determinar el efecto de la edad de corte sobre las características nutricionales, digestibilidad y actividad metanogénica de *Cenchrus purpureus*.



2. Objetivos

2.1 General

Evaluar el efecto de la edad de corte en las características nutricionales, digestibilidad y actividad metanogénica de cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus* para conocer cuál podría ser la mejor opción como recurso forrajero con baja producción de metano.

2.2 Específicos

- Medir la de producción de metano y dióxido de carbono de las cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus*.
- Estimar algunas características nutricionales de accesiones de *Cenchrus purpureus* de intervalos de corte y determinar el momento óptimo para ser cosechado.
- Estimar la Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca de las cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus*.



3. Hipótesis

- La edad de corte de las accesiones de *Cenchrus purpureus* a 60, 90 y 120 días afecta la digestibilidad, características nutricionales, producción de metano y dióxido de carbono.



4. Marco teórico

4.1 Antecedentes

La alta demanda de forrajes tropicales para el consumo de rumiantes ha sido motivo de investigación y evaluaciones nutrimentales de pastos. Algunos de estos análisis contemplan las determinaciones de los valores bromatológicos, pruebas de producción de gas *in vitro*, *in situ*, esto con la finalidad de crear mejores condiciones para optimizar la productividad ganadera (Almaraz-Buendía et al., 2019). Para que un pasto exprese el máximo potencial productivo también se toma en cuenta la edad del pasto (Calzada-Marín et al., 2018). La edad del pasto, al realizar el corte, tiene efectos que pueden ser negativos o positivos en su calidad y digestibilidad. Lo anterior como consecuencia del incremento de la pared celular (Valles de la Mora et al., 2016). Por lo anterior existen investigaciones dirigidas a los pastos tropicales con el fin de obtener mejor rendimiento de materia seca y de valor nutricional.

Gurrola *et al.* (2020) evaluaron la composición química y la producción de forraje Maralfalfa (*Pennisetum purpureum*). La investigación se realizó en temporada de seca, utilizaron 3 intervalos de corte a los 60, 90 y 120 días. Ellos reportaron que la edad de 60 días es la más adecuada para su aprovechamiento. Este intervalo de tiempo de corte en el pasto Maralfalfa se encuentra en un estado óptimo en su valor nutritivo y mayor cantidad de follaje. También afirman que el pasto *Pennisetum purpureum* presenta un valor nutritivo superior comparado con otros pastos tropicales.

Por otro lado, Villalobos y Arce (2014) analizaron el valor nutricional del pasto Estrella Africana el cual es una gramínea tropical. La investigación que realizaron tuvo duración de 2 años en donde recolectaron 48 muestras en ese periodo. Las muestras que colectaron se les determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y también determinaron la digestibilidad "*in vitro*". De acuerdo con los resultados que obtuvieron, mencionan que el pasto Estrella mostró ser más digestible en época de lluvia. En su reporte aseguran que el contenido proteico del pasto Estrella no afectan los requerimientos nutricionales en época de seca del ganado lechero en zonas tropicales.



Por último, recomiendan utilizar estrategias de suplementación como heno y ensilaje con utilización de pastos de corte semi-deshidratados, para poder permitir una correcta tasa de pasaje y retención en el rumen sin afectar el consumo voluntario.

Estudios como los mencionados anteriormente sirven para profundizar y difundir conocimientos para mejorar la estimación de consumo por parte de los animales, calidad del forraje y su digestibilidad (Vargas *et al.*, 2013). Especialmente en zonas tropicales donde los pastos presentan mayor contenido de fibra y menor digestibilidad (Rosales y pinzón, 2005). Las gramíneas ocupan 75% del material vegetal forrajero en el planeta, existen más de 700 géneros, más de 10, 000 especies, estas especies se pueden clasificar en zonas templadas, zonas tropicales y mixtas (Gurrula *et al.*, 2020). Otro avance en tema de las gramíneas tropicales lo reportaron Jaime *et al.* (2019) quienes evaluaron el efecto de la edad y la estación sobre el rendimiento y el valor nutricional del pasto Elefante morado *Pennisetum purpureum x Pennisetum americanu*). Los rendimientos de materia seca en el periodo invernal se vieron afectados por las bajas temperaturas. El pasto Elefante morado pertenece a las plantas C₄ las cuales tienen buena respuesta a la radiación y a la temperatura, es por eso que en invierno se reduce su crecimiento. También mencionan que el contenido de proteína del pasto desciende con edad y época del año. En invierno presenta el nivel más alto de proteína.

Finalmente ellos afirman que el rendimiento de materia seca y los componentes de fibra afectan con la edad y también se ve influenciado por la temperatura la radiación solar, recomiendan que la edad de corte se realice en otoño y verano donde el pasto tiene aproximadamente 63 días de crecimiento.

Las gramíneas destinadas al consumo del ganado tienen alto contenido de fibra que afecta la digestibilidad de los pastos, sin embargo, son recursos forrajeros indispensables para la nutrición del ganado (Rosales y Pinzón, 2005) es por eso la importancia de seguir investigando estrategias de manejo para su máximo aprovechamiento de los forrajes tropicales.

4.1.1. Cambio climático

El planeta está constantemente afectado por el cambio climático. Éste es originado principalmente por los gases de efecto invernadero que cubren la atmósfera y atrapan el



calor del sol. El calentamiento global forma así una cadena de cambios en la temperatura y clima (Hinckley, 2024). Los cambios antes mencionados han provocado daños en distintos países, causando deterioro en el medio ambiente, la salud, pérdida de cosechas y olas de calor (Donohoe, 2023).

4.1.2 Gases de efecto invernadero

El efecto invernadero es un término que se refiere al efecto que hace que la atmósfera de la tierra se caliente (Caballero et al., 2007). Las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras prácticas liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (Paccha et al., 2024). Las emisiones excesivas de estos gases producen fenómenos meteorológicos extremos que afectan la agricultura (Sánchez et al., 2020).

4.1.3 Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es un gas inodoro e incoloro. Está formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, estos forman una molécula triatómica lineal (O = C = O), otra forma de representarlo es como se ilustra en la Figura 1, las esferas grises simulan la distribución de electrones alrededor de los átomos de oxígeno. La dona oscura representa la distribución de los electrones del átomo de carbono (Valtierra Medina, 2010). Estos elementos se unen por enlaces covalentes. El CO₂ es producto de procesos de fermentación, respiración y combustión. Este gas es benigno porque hace posible la vida en el planeta. Sin embargo, su emisión excesiva a la atmósfera, lo hacen nocivo ya que como consecuencia incrementa la temperatura del planeta (Arroyo y Ramírez-Monroy, 2020).

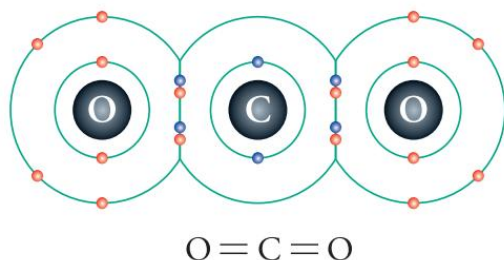


Figura 1. Representación de Lewis de la molécula de CO_2 . Fuente. Rosi (2010)

En el sector pecuario, la especie que mayor emisión de CO_2 produce, son los bovinos productores de carne con aproximadamente 2,495 toneladas y el ganado lechero con 2,128 toneladas equivalentes de CO_2 (La Alianza Global para el Clima y la Salud [GCHA], 2023).

4.1.4 Metano (CH_4)

La estructura del metano está formada por cuatro átomos de hidrogeno y cada uno está unido a un átomo de carbono por un enlace covalente (Figura. 2). El CH_4 es incoloro y en estado líquido, menos denso que el agua (densidad relativa de acuerdo con la regla de una sustancia disuelve a otra similar, este es apenas soluble en agua, pero muy soluble en líquidos orgánicos (gasolina, éter y el alcohol). El CH_4 pertenece a la familia de los alcanos (Morrison y Boyd, 1987). Este se origina mediante la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (sin aire), por bacterias, a través de un proceso denominado metanogénesis. De modo que el CH_4 es resultado de fuentes naturales e influidas por el ser humano (López Sánchez, 2020).

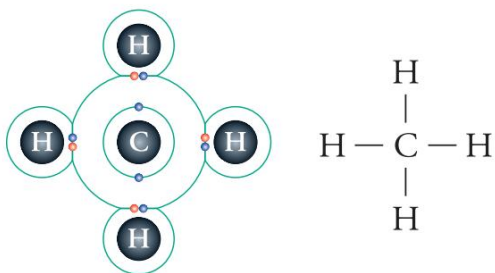


Figura 2. Representación de Lewis del metano con una línea por cada par de electrones, compartiendo por el carbono e hidrogeno. Fuente. Rosi (2010)



El calentamiento global que ocasiona el Metano, es 23 veces más que el CO₂ (Velázquez Espinoza, 2021). El sector agrícola representa 42 % de emisiones, donde 29 % corresponde a la fermentación entérica ganadera, 8 % a la producción de metano por medio del cultivo de arroz, 3 % originado por el estiércol de ganado y 2 % en la quema de residuos agrícolas (GCHA, 2023).

La cría de animales en la ganadería es una práctica influida por el ser humano en la producción de CH₄, la dieta del ganado está basada en plantas que se fermentan en su estómago dando origen al CH₄. El metano es producido por las arqueas metanogénicas y se desarrolla partir de los productos resultantes de la fermentación (Carro-Travieso et al., 2018). Las bacterias arqueas presentes en el rumen, usan el dióxido de carbono e hidrogeno que se origina en la fermentación de la fibra de las plantas, para formar metano y reducir la acumulación de hidrogeno en el rumen (Benaouda et al., 2017). El metano principalmente se produce por medio del ácido acético mediante metanógenos de nombre aceticlásticos de crecimiento lento (130 hrs) realizando la vía de 1: ($4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$), sin embargo, también se produce por otras especies metanogénicas de crecimiento más rápido (4 a 12 hrs) realizando la vía 2: ($\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$). En el rumen la producción de CH₄ se realiza por la vía 2, esta utiliza menor tiempo en la retención ruminal para permitir el establecimiento de las especies aceticlástica de crecimiento lento (Carmona et al., 2005). La producción de metano en el rumen es generada entre el 85-95 % y el 5-15 % en el intestino delgado de los rumiantes (Paredes Tigmasa, 2022).

El consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad de alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación son factores que se relacionan con la producción de CH₄ (Bonilla y Lemus, 2012).

4.1.5 Óxido nitroso (N₂O)

Las emisiones de óxido nitroso se originan en los procesos de nitrificación y desnitrificación a partir de especies de nitrógeno inorgánico, que se encuentran en el suelo estos se destacan como la principal fuente de contribución. La nitrificación es la

oxidación microbiana aeróbica del amoníaco en nitrito, y la desnitrificación es la reducción microbiana anaeróbica y del nitrito en gas de nitrógeno (Luque, 2015).

La nitrificación es un proceso donde el amonio (NH_4^+) es oxidado a nitrato (NO_3^-), pasando previamente por nitrito (NO_2^-), en este proceso alguna parte del nitrito no es oxidado y este es liberado a la atmosfera como óxido nitroso (N_2O). Este proceso produce la emisión de N_2O en suelos aireado Figura 3 (Thomson et al., 2012).

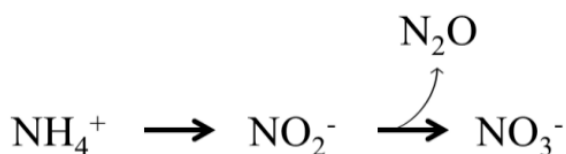


Figura 3. Esquema del proceso de nitrificación en el suelo. Fuente. Taboada et al. (2018).

En la desnitrificación el nitrato (NO_3^-) es reducido a nitrógeno gaseoso (N_2) pasando previamente por otras formas de nitrógeno como el nitrito (NO_2^-), óxido nítrico (NO) y el óxido nitroso (N_2O), posteriormente los compuestos nitrogenados gaseosos son liberados a la atmosfera Figura 4 (Thomson et al., 2012).

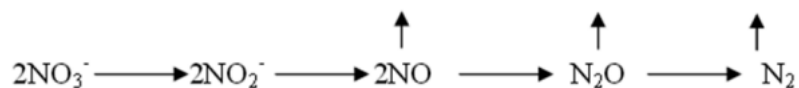


Figura 4. Proceso de desnitrificación del suelo. Fuente. Robertson y Groffman (2007).

En la ganadería el principal origen de emisión de N_2O se produce a partir de las excretas de los animales, tomando mayor relevancia las líquidas (Constantini et al., 2018).

4.1.6 Temperatura ambiente

La temperatura del planeta ha ido en incremento especialmente en los últimos 25 años aumentando aproximadamente un grado centígrado con respecto a la temperatura de hace 25 años. Este aumento de temperatura es una limitante en la vida de especies animales y vegetales (Aburto Jarquin, 2022), porque regula el crecimiento, distribución y estabilidad de las plantas incluso la germinación de las semillas (Reyes-Santamaría et



al., 2023). Los cambios en la temperatura también modifican las precipitaciones, en latitudes altas puede aumentar y disminuya en zonas subtropicales.

4.1.7 Componente vegetal

Las plantas tienen la habilidad de transformar energía luminosa en energía bioquímica como la glucosa, esta transformación la realizan por medio de la fotosíntesis. Su valor energético y su contenido de nutrientes, forman parte de la base de la pirámide trófica del planeta (Camacho-Escobar et al., 2020). El impacto del cambio climático sobre la diversidad vegetal se observa el calentamiento que extiende el periodo de desarrollo de la planta y disminuye su productividad (Fernández-González et al., 2005). La fotosíntesis es un conjunto de reacciones químicas, de forma que la mayoría de estas reacciones incrementa casi inmediatamente después de percibir el estímulo. Esto no significa necesariamente un beneficio para la planta, pues si las altas temperaturas persisten, las plantas tienden a cerrar sus estomas, como un mecanismo de defensa, para prevenir la pérdida de humedad de sus tejidos. Al cerrar sus estomas, se disminuye la captación de CO_2 , y la rubisco enriquece su actividad oxigenasa, favoreciéndose la fotorrespiración y reduciéndose la efectividad de la fotosíntesis. Así mismo, a altas temperaturas la solubilidad del O_2 disminuye menos que la solubilidad del CO_2 , aumentando la disponibilidad del O_2 para las reacciones. En condiciones extremas de calor, la velocidad de la fotorrespiración es mayor que la de la fotosíntesis (Reyes-Santamaría et al., 2023).

Otra consecuencia del cambio climático en las plantas ha provocado que desarrollen mecanismos de defensas para su supervivencia, provocando aspectos negativos para la salud o eficiencia productiva de los animales que la consumen, especialmente los rumiantes, ya que modifican la estructura de la pared celular de la planta formando una barrera más rígida asíndolas menos palatables y menos digeribles (Sepúlveda-Jiménez et al., 2003).

4.1.8 Forraje de corte

Los pastos en zonas templadas debido al comportamiento del cambio climático el periodo de producción puede ser más alta, aunque con disminución y calidad del forraje. En zonas tropicales estos tendrán mayores afectaciones en rendimiento (Álvarez Adán,



2019). En zonas tropicales, la morfología de *Cenchrus purpureus* presenta variaciones favorables, como una buena altura (largo y ancho de hoja, número de entrenudos), lo que las convierte en una alternativa como uso y aprovechamiento para el sistema ganadero en zonas tropicales (Villanueva-Avalos et al., 2022).

De acuerdo a los resultados de investigación de Álvarez Adán (2019) se observó que los pastos que más se pudieron cultivar durante todo el año en zona tropical fue *Cynodon nlemfuensis* y *C. purpureus* esto debido a que sus requerimientos no son tan exigentes y las precipitaciones en ese periodo fueron suficientes para su desarrollo.

4.1.9 Fisiología digestiva de los rumiantes

Los compartimentos de los rumiantes son el rumen, el retículo, el amaso y el abomaso conocido comúnmente como panza, bonete, librillo y cuajar. En el rumen y el retículo estos forman un solo compartimento que llevan por nombre retículo-rumen el cual es el encargado de la digestión de los alimentos (Segura Canizales, 1989).

4.1.10 Rumen

En el rumen se realiza la fermentación y en él alberga microorganismos como bacterias, hongos y protozoos encargados de realizar la fermentación anaeróbica, por lo tanto, la actividad microbiana fermentativa es muy amplia y funciona mediante cooperación entre ellos, creando un ecosistema complejo en los prestomagos (Navarro Ríos, 2022). Estos microorganismos descomponen el material vegetal que los humanos no podemos digerir, proporcionan energía al rumiante, por ello los rumiantes producen carne y leche que son ricas en proteínas, vitaminas y minerales (Huws et al., 2018).

El pH adecuado en el rumen para un correcto funcionamiento es ligeramente ácido entre 5.8-7 de esta manera la flora microbiana se mantiene activa y en balance y como resultado se realizará de forma correcta los procesos fermentativos, produciendo la máxima fermentación del alimento fibroso del forraje (Navarro Ríos, 2022).

4.1.11 Impacto de la ganadería sobre el cambio climático y producción de gases de efecto invernadero

El cambio climático afecta a la ganadería en 4 aspectos:



1. Disponibilidad y precio de los granos para la alimentación del ganado.
2. Escases de producción y calidad de forrajes.
3. Fenómenos meteorológicos, que afectan la salud, el crecimiento y la reproducción animal.
4. Presencia de plagas en las plantas y enfermedades en los animales.

La agricultura se encuentra en un estado de vulnerabilidad ante el cambio climático (Alonso-Spilsbury et al., 2012). Los cambios de temperatura modifican las precipitaciones afectando a la agricultura. El estrés hídrico afecta los procesos de fisiológicos del desarrollo de las plantas, la síntesis de proteínas, presencia de la fotorrespiración y la fijación de dióxido de carbono (Cervantes et al., 2014). La falta de agua disminuye el rendimiento de las plantas nativas y cultivadas. Estos daños se reflejan en la carga animal y nivel nutricional del ganado (Alonso-Spilsbury et al., 2012).

La ganadería es una actividad antropogénica que utiliza 70 % de la tierra de uso agrícola del planeta (Buitrago-Guillen et al., 2018). La ganadería contribuye con sus emisiones de gases de efecto invernadero al cambio climático. Los daños causados al ambiente también se reflejan en la ganadería como el estrés por calor principalmente. Este impacto es visible en el animal porque disminuye la ingesta de alimento, afecta la reproducción, producción de leche y en casos extremos la muerte (Paredes Tigmasa, 2022).

La ganadería aporta el 80 % de emisiones de metano y óxido nitroso a la atmósfera. Estos gases se originan por la fermentación entérica de la dieta en el tracto digestivo de los rumiantes. Durante la fermentación se producen ácidos grasos volátiles y otros compuestos que son convertidos en metano. Estos gases son expulsados a la atmósfera por medio de eructos. La emisión de metano diaria de los bovinos oscila entre 150 y 420 litros (Morales-Velasco et al., 2016).

El estiércol y la orina de los rumiantes producen óxido nitroso. La composición química del estiércol y mediante el proceso de desnitrificación del nitrógeno se produce óxido nitroso. En el estiércol también puede producir metano, cuando se conserva en condiciones anaeróbicas (Velázquez Espinoza, 2021). La deposición directa del



excremento sobre las pasturas (degradación aeróbica) reduce o elimina la formación de metano (Buitrago-Guillen et al., 2018). La aplicación de fertilizantes a cultivos destinados a la alimentación animal contribuye a la generación de óxido nitroso. El uso del estiércol como abono, también origina la emisión de óxido nitroso. Por otro lado, la maquinaria utilizada para la producción y transporte de los alimentos es una fuente de dióxido de carbono. El uso de suelo también produce CO_2 de acuerdo con la expansión de cultivos y sus pastos (Marín-López et al., 2022). Las gramíneas utilizadas en zonas tropicales son C_4 , tiene la capacidad de integrar el CO_2 en la materia orgánica de las plantas. Cuando el material vegetal de las gramíneas es consumido por los animales entre el 30 y 70 % de CO_2 regresa al suelo por medio de heces y orina. Las prácticas de manejo de suelos por el pastoreo han ocasionado el decaimiento de las reservas de carbono del suelo. la ganadería reduce la cobertura vegetal por medio del sobrepastoreo, sus daños se observan en la fertilidad del suelo y la erosión del carbono (Zamora-morales et al., 2018). El uso de energía directa se refiere a aquella energía utilizada para la producción animal, también es origen de CO_2 . La energía indirecta, cuando se construyen instalaciones o equipos para el alojamiento animal, es una fuente de emisión de CO_2 (Marín-López et al., 2022).



4.2 Estado del arte

Los gases que se producen en el proceso de digestión que realizan los rumiantes, contribuyen a una pérdida de energía para su organismo y contribuye a un exceso de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera del planeta (Bonilla y Lemus, 2012). El metano es uno de los gases producidos en el sistema digestivo de los rumiantes, originado por la actividad microbiana al degradar los alimentos (Alfaro y Muñoz, 2012). Otro de los gases producido es el dióxido de carbono (Alayón-Gamboa et al., 2018) la producción de estos gases son producto del tipo de alimento que ingiere el animal, la composición del alimento puede afectar la digestibilidad provocando que las bacterias produzcan más gas y retrasen la frecuencia de alimentación (Vargas et al., 2012) por ello se han realizado investigaciones enfocadas a estrategias y métodos de mitigación de estos gases producidos en el rumen ya que afecta a la producción ganadera y al planeta, una investigación reciente de Rivas-Martínez et al. (2023) ellos evaluaron la producción *in vitro* de metano y dióxido de carbono en pastos templados [Ballico perenne (*Lolium perenne*); Festuca (*Festuca* spp); Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); Ovillo (*Dactylis glomerata*) y Ballico anual (*lolium multiflorum*)], además algunos pastos tropicales [Insurgente (*Brachiaria brizantha*), Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Guinea (*Panicum máximum*); Elefante (*Pennisetum purpureum*); Llanero (*Andropogon gayanus*) y Bermuda (*Cynodon dactylon*)]. Ellos mencionan que el material vegetal con altos niveles de carbohidratos estructurales, producen más hidrogeno y dióxido de carbono, ambos precursores del metano. Afirman que el pH cambia de acuerdo con el tipo de fermentación que se realice. El Material vegetal con altos niveles de carbohidratos estructurales, minimizan el pH y la producción de metano. La producción de metano y dióxido de carbono la determinaron por medio de mL producidos en 72 horas. Ellos mencionan que los pastos que produjeron menos metano y dióxido de carbono fueron los de zonas templadas. *Lolium multiflorum* fue el pasto de zona templada que menor cantidad de metano (23.09 mL) que presento en 72 horas. En producción de dióxido de carbono el *Festuca* sp. Presento 36.87 mL siendo igual la gramínea templada con el índice más bajo en esta investigación. En los pastos tropicales ellos señalan que son los que mayor índice de producción en metano y dióxido de carbono. La gramínea



tropical *Pennisetum purpureum* el 82.90 mL de metano siendo el más alto en esta investigación. En la producción de dióxido de carbono el índice más alto fue de 174.66 mL originado también por el pasto *Pennisetum purpureum*.

Ellos concluyeron que al ser los pastos templados los que menor cantidad de metano presentaron podrían ser incluidos en dietas para rumiantes en zonas templadas de México. Por otro lado, Camacho-Escobar et al. (2020) estimaron la producción de metano y dióxido de carbono en pastos de la costa de Oaxaca. las especies de pastos que utilizaron fueron *Cynodon nlemfuensis*, *Andropogon gayanus* cv Taiwán Morado, *Pennisetum purpureum* cv Maralfalfa, *Panicum máximum*. La cosecha de los pastos fue en diferentes intervalos de rebrote y a 15 cm de altura, *Cynodon nlemfuensis*, cosechado a 26 días, *Andropogon gayanus*, cosechado a los 35 días, *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán Morado, cosechado a los 45 días, *Pennisetum purpureum* cv. Maralfalfa, cortado a los 40 días y *Panicum máximum*, cosechado a los 35 días de rebrote. Ellos determinaron las emisiones de metano y dióxido de carbono en muestras de 0.5 g de materia seca de cada pasto y lo evaluaron en 24, 48 y 72 horas. El pasto *Andropogon gayanus* presento 61.4 mL en 24 horas, 71.44 mL en 48 horas y 72.78 mL en 72 horas de metano en gramos de materia seca, siendo estos el valor más alto de todos los pastos. El pasto *Pennisetum purpureum* cv. Maralfalfa presento 31.00 mL en 24 horas, 35.06 mL en 48 horas y 35.96 en 72 horas de producción metano. Representando los valore más bajos de emisiones en comparación con las demás variedades de pastos. En las emisiones de dióxido de carbono el pasto *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán presento los valores más altos, 118.07 mL en 24 horas, 131.52 mL en 48 horas y 134.68 mL en gramos de materia seca, en 72 horas. El pasto *Cynodon nlemfuensis* presento los valores más bajos en la emisión de dióxido de carbono, 99.40 mL en 24 horas, 113.51 mL en 48 horas y 115.74 en 72 horas.

Ellos concluyeron que los pastos más apropiados por la baja emisión de metano fueron *Pennisetum purpureum* cv. Maralfalfa y *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán, y en producción de CO₂ fueron *Cynodon nlemfuensis* y *Panicum máximum*. También en Veracruz, Ventura et al. (2019) evaluaron el rendimiento nutricional y fermentación ruminal *in vitro* del pasto Maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach) Morrone a cuatro



frecuencias de corte en clima cálido, las frecuencias de corte fueron 30, 60, 90 y 120 días. Se observó que la frecuencia de corte de 120 días supero a las demás frecuencias, por otro lado, la frecuencia de corte de 60 días mostro el mayor rendimiento en proteína cruda por hectárea y la digestibilidad de la materia seca así mismo la producción total de ácidos grasos volátiles se mantiene en un nivel competitivo. Ellos recomiendan el pasto Maralfalfa como forraje de corte en zonas tropicales de México.

Estas investigaciones mencionadas son muestra del interés y los avances sobre implementar estrategias y mejorar el manejo de forrajes para así obtener un impacto positivo sobre la absorción de nutrientes y producción de gases en el ámbito de la digestión ruminal.

5. Metodología

5.1 Área y periodo de estudio

La investigación se desarrolló en la localidad de El Coyol Santa Clara, perteneciente a Tantoyuca, Veracruz. Este municipio al que pertenece la localidad se encuentra en entre los paralelos $21^{\circ} 06'$ y $21^{\circ} 40'$ de latitud norte; los meridianos $97^{\circ} 59'$ y $98^{\circ} 24'$ de longitud oeste; altitud entre 10 y 300 m (Figura 5) (Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave [SIEGVER], 2020).



Figura 5. Áreas geográficas de Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave. Fuente. Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], (2025).

5.2 Clima

El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano, humedad media (64.23 %) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (35.77 %) el rango de temperatura anual de $22 - 26^{\circ}\text{C}$, el rango de precipitación anual entre 1,100 y 1,300 mm (INEGI, 2010).

5.3 Tipo de suelo

El tipo de suelo presente en el municipio es un suelo Vertisol (48.02 %), Phaeozem (25.80 %), Regosol (14.53 %), Cambisol (10.24 %) y Leptosol (0.46 %), el porcentaje faltante pertenece a zona urbana (0.87 %) y cuerpos de agua (0.08 %) (INEGI, 2010).

El suelo donde se realizó la investigación, se llevó a cabo un análisis de dicho suelo (Tabla 1) en donde se observó un suelo con pH moderadamente alcalino y calcareo. Un suelo libre de sales con alto nivel de materia orgánica, también con un muy bajo nivel de



azufre. La disponibilidad de micronutrientes en suelo es muy pobre en zinc y manganeso, un bajo contenido de cobre y moderadamente bajo en boro.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo, en donde se establecieron las accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Propiedades Físicas del Suelo		pH del suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado		
Punto de saturacion (%)	86	pH (1:2 agua)	7.86	mod. Alcalino
Capacidad de campo (%)	46.3	Carbonatos Totales (%)	11.9	Mediano
Punto March.Perm. (%)	27.5	Salinidad (CE Extracto ds/m)	0.58	Bajo
Cond. Hidraulica (cm/h)	0.10	Requerimiento de Yeso		No requiere
Cond. Aparente (g/m ³)	1.25	Requerimiento de Cal		No requiere
Fertilidad del Suelo				
MO (%)	3.63			Alto
P-Olsen (ppm)	16.1			Medio
K (ppm)	317			mod.Alto
Ca (ppm)	5779			Alto
Mg (ppm)	162			Mod. Bajo
Na (ppm)	<25			Muy Bajo
Fe (ppm)	13.3			Mod. Alto
Zn (ppm)	<0.25			Muy Bajo
Mn(ppm)	0.84			Muy Bajo
Cu (ppm)	0.41			Bajo
B (ppm)	0.73			Mod. Bajo
S (ppm)	0.1			Muy Bajo



5.4 Descripción de los tratamientos

Las variedades de *C. purpureus* utilizadas para esta investigación son Maralfalfa, Roxo, Taiwán y CT-115. Estos materiales genéticos fueron obtenidos en el campo experimental, la Posta INIFAP Paso del Toro, municipio de Medellín, Veracruz. Cada accesión fue asignada como tratamiento y la edad de corte también fue asignadas como tratamiento (Tabla 2) con 5 repeticiones cada uno.

Tabla 2. Tratamientos de *Cenchrus purpureus*.

Accesión	Edad
Maralfalfa	60
Taiwán	90
Roxo CT-115	120

5.5 Variables de estudio

Las variables evaluadas fueron analizadas en el laboratorio de zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

5.5.1 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

En la digestibilidad *in vitro* se realiza simulando un estomago de rumiante a través de la fermentación anaerobia esto se realizó en el laboratorio de zootecnia de la Universidad de Chapingo. Para este análisis de laboratorio se utilizó la técnica Digestibilidad *in vitro* de la materia seca Sosa De pro (1979).

Pesar alrededor de 0.5 gramos de muestra y depositarlos en un tubo de 100 cm³, enseguida adicionar 40 cm³ de solución Buffer (saliva de McDougal).

El líquido ruminal se extrajo de toro Holstein fistulado, el líquido del rumen se almaceno en un termo manteniendo una temperatura de 39 °C el termo fue colocada en una hielera oscura y de esta manera fue trasportado lo más rápido posible al laboratorio, para evitar la mortalidad de microorganismos. Una vez en el laboratorio el líquido ruminal se filtró con una gasa de tripe capa para eliminar la mayor cantidad de alimento



Y enseguida se agregó 10 cm³ de líquido ruminal licuado y filtrado y una corriente de CO₂ y tapar con tapones de goma.

Se colocaron los tubos en un baño maría a temperatura de 39-40 °C, durante 72 horas, transcurrido el tiempo retirar los tubos y vaciar el contenido en un vaso Berzelius de 100 cm³. Al finalizar la incubación las muestras fueron congeladas temporalmente para detener el proceso de fermentación y para después realizar fibra detergente neutra de la digestibilidad *in vitro* en donde se le adiciono 20 cm³ de solución de detergente neutro y lavar el tubo agregando pequeñas porciones, frotando el interior del tubo con un gendarme para evitar que se queden partículas de muestra. Se colocó el vaso Berzelius a hervir a reflujo por 60 minutos. Se debe pesar un crisol con filtro que contenga fibra de vidrio, transcurrido los 60 minutos se filtra en el crisol ya pesado, se lava con agua hirviente hasta que desaparezca la espuma, se lava el exterior del crisol con una piseta y coloca en la estufa de secado durante toda una noche (12 horas) pasado el tiempo se saca y coloca en el desecador, reposa 40 minutos y se registra el peso (FDN).

Al valor obtenido se le aplica la siguiente formula:

% Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) = (Materia seca antes de incubación - Materia seca después de incubación) / Materia seca antes de incubación * 100.

5.5.2 Dióxido de carbono *in vitro*

Para el dióxido de carbono se utilizó la misma técnica de digestibilidad *in vitro*, también se prepararon 4 tubos de digestibilidad que contenían solo liquido ruminal y saliva de McDougal (blancos) esto se realizó con la finalidad de establecer la producción de gases de fermentación como referencia el valor de gases de los blancos se restó al valor de los gases que produjeron los tratamientos.

En los tapones de goma de los tubos de digestibilidad se le coloco una jeringa de 100 mL con la finalidad de capturar el gas producido por la actividad de las bacterias al degradar el pasto.

La medición del gas se realizó a las 12, 24 y 72 horas con un sensor de dióxido de carbono (Vernier Or). Se retiraba la jeringa de la aguja tapando el orificio para evitar el



escape de gas, dicho gas se depositaba en un frasco de 250 mL en donde en seguida se introducía el sensor el cual comenzaba a registrar en un software dicha cantidad de gas producida en partes por millón (ppm). También se medía el Vol. en cm una vez corregido el valor de los blancos se sumaron las mediciones de gases.

A la ppm de dióxido de carbono registrado se convirtieron a mL

$$\text{ppm} = (\text{volumen en mL} / \text{volumen total en mL}) \times 1.000.000 = \text{mL}$$

5.5.3 Producción de metano

Para calcular el metano se utilizó la medición de ppm de dióxido de carbono que midió el sensor Vernier Or, dicho valores se convirtieron a volumen de CO₂ en mL y ha dicho valor se le resto el total de los gases de acuerdo a la materia seca de la muestra ingresada para así estimar el volumen de metano por diferencia, esto se realizó tomando en cuanto a lo mencionado por Morsy et al. (2022) ellos mencionan que el gas que se acumula en el rumen es principalmente metano y dióxido de carbono.

5.5.4 Cenizas

El análisis de cenizas en este caso de los pastos se realizó con la finalidad de determinar el contenido de minerales, su contenido es importante para la nutrición de los animales, para este análisis se utilizó la técnica de Sosa de Pro (1979), donde menciona pesar un crisol de porcelana limpio y seco registrar su peso y enseguida adicionar un gramo de muestra, una vez pesada la muestra se preincinera en un mechero hasta que deje de aparecer humo con ayuda de unas pinzas colocar el crisol en la mufla a 550 °C por 2 horas, pasado el tiempo solicitado se retira de la mufla y se deja enfriar al ambiente hasta que la temperatura sea aproximadamente de 80 °C – 100 °C, enseguida meter el crisol al desecador para que termine de enfriar, finalmente pesar los crisoles restar el peso del crisol solo y al resultado aplicarle la siguiente formula:

$$\% \text{Cenizas}_{\text{BH}^*} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{Materia orgánica}_{\text{BH}} = \% \text{Materia seca} - \% \text{de Cenizas}_{\text{BH}}$$

BH* = Base humeda



$$BS = \frac{\% \text{ Base seca}}{\% \text{ Materia seca}} \times 100$$

5.5.5 Fibra Detergente Neutro

Este análisis se realizó para conocer el contenido celular se utilizó la técnica Sosa De Pro (1979), donde indica lo siguiente:

Pesar 0.25 g de muestra y depositarla en un vaso Berzelius de 100 cm³, enseguida adicionar 20 cm³ de solución de detergente neutro. Después tapar el vaso con un recipiente que resista el calor con agua corriente para simular un condensador, dejar hervir 60 min, este tiempo se cuenta a partir de que de inicio la ebullición, si el agua se calienta se tiene que cambiar de inmediato por agua fría.

Transcurrido el tiempo filtrar con vacío abierto en un crisol de Gooch con filtro de fibra de vidrio limpio, seco, previamente pesado. Lavar con agua hirviente en porciones de 20 cm³ y con ayuda del gendarme desprender todas las partículas de FDN que se hayan quedado adheridas en las paredes del vaso, no dejar de lavar hasta que deje de salir espuma, finalmente lavar la parte exterior del crisol con ayuda de una peseta y colocarlo en una estufa de secado a 100 °C (toda una noche), transcurrido el tiempo se coloca el crisol en un desecador por 40 min y se pesa.

Para obtener el % de FDN se aplica la siguiente formula:

$$\% \text{ Paredes celulares}_{BH} = \frac{\text{gramos de paredes celulares}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Contenido celular}_{BH} = \% \text{ materia seca} - \% \text{ paredes celulares}_{BH}$$

5.5.6 Fibra Detergente Acido, Lignina y Sílice

Se realizó para conocer el contenido de la pared celular y hemicelulosa digerido para enseguida realizar el procedimiento para identificar la lignina y por último separar la lignina de la sílice de acuerdo a la metodología Sosa De Pro (1979).

Se aplicaron las siguientes formulas:



$$\% \text{ FDA} = \frac{\text{gramos de FDA}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{gramos de lignina}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ sílice} = \frac{\text{gramos de sílice}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Los resultados se convierten en base seca.

5.5.7 Proteína cruda

Las proteínas son macromoléculas encargadas del mayor funcionamiento de las células presentes en los seres vivos. También son fundamentales para el crecimiento y desarrollo y funciones metabólicas de los seres vivos (González-Torres et al., 2007). En esta investigación se realizó el análisis de proteína cruda para estimar la cantidad de proteína disponible por parte de las accesiones de *Cenchrus purpureus* utilizando la técnica de Sosa De Pro (1979) y aplicando las siguientes formulas:

$$\% \text{ PC BS al } 100\% = \frac{\text{mL utilizados (N. A)}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ PC BH} = \frac{\% \text{ PCBS al } 100\%}{100} \times \text{MS}$$

5.6. Descripción y manejo del objeto de estudio

5.6.1 Establecimiento de las accesiones de *Cenchrus purpureus*

El cultivo de las variedades de *C. purpureus* tenía un año de establecimiento en donde para la siembra se utilizó únicamente arado y rastra sin ningún tipo de agroquímico u productos orgánicos para el desarrollo de las plantas. Se manejó un área de 1,086 m² para el establecimiento de 60 parcelas, cada una ellas de una superficie de 23 m² (4.8



m x 4.8 m). La distribución de las parcelas fue de manera aleatoria en 6 hileras con 80 cm de separación entre surco y macollos. La siembra de las accesiones se realizó colocando dos tallos fitómeros con tres entrenudos por cada punto de siembra, introduciendo en la cama de siembra la distancia de dos entrenudos, colocando los tallos en un ángulo de 45° respecto del suelo.

El 2 de marzo del 2024 se realizó un corte de homogenización utilizando herramienta manual. Durante el periodo experimental se realizó la limpieza de los cultivos de las accesiones, posteriormente el 1 de mayo se realizó la cosecha de 60 días de edad, la segunda fue el 1 de junio a los 90 días de edad y la tercera el 1 de julio de 2024 a los 120 días de edad, la cosecha se realizó con machete a la altura de 15 cm del nivel del suelo la duración del trabajo en campo fue de 4 meses.

5.6.2 Toma de muestras

La muestra útil que se tomó de las accesiones fue seleccionada en un área de 2.0 m² del centro de la unidad experimental para evitar el efecto borde, a una altura de 15 cm sobre el nivel de suelo.

En cada una de las cosechas se seleccionaba una planta por repetición de cada uno de los tratamientos a dicha planta se le separaban las hojas del tallo y se picaban por separado en bolsas de papel de número 13, enseguida se pesaban por separado en una báscula con una capacidad de legibilidad de 0.1 gramos.

Las muestras fueron colocadas en una estufa de secado a 50 °C a hasta considerar llegar a peso constante con el fin de conservarlas para el análisis de las variables.

5.6.3 Transporte de muestras al laboratorio

Cuando las muestras perdieron la humedad en su totalidad se dejaron equilibrar con la temperatura ambiente, después fueron almacenadas en bolsas ziploc y selladas correctamente para evitar que se humedecieran o contaminaran. En seguida fueron transportadas al laboratorio de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde fueron molidas en un molino eléctrico con una criba de 2 mm, esto con el fin de realizar el análisis de las variables estudiadas.



5.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño Completamente al Azar con 7 tratamientos y 5 repeticiones por cada tratamiento, los cuales se evaluaron durante un tiempo determinado.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta observada con el tratamiento i en la repetición j

μ : Efecto de la media general

t_i : Efecto del i -ésimo tratamiento i ; $i = 1, 2, \dots, t$

ε_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la i -ésima unidad experimental

Las accesiones fueron analizadas con un ANDEVA de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), se realizó por separado el análisis de la edad donde se aplicó en mismo procedimiento que las acciones.



6. Resultados y discusión

Se presentan los resultados del análisis estadístico por ANDEVA de una vía aplicado a las variables Digestibilidad, lignina, FDN, FDA, Proteína, Cenizas y Sílice de las accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Digestibilidad

Los efectos del cambio climático ocasionan alteraciones en el clima principalmente en zonas tropicales, lo cual va modificando la estructura celular y desarrollo de las plantas (Ledea-Rodríguez et al., 2018). Estos efectos son visibles en la digestibilidad de un alimento. La digestibilidad es un indicador de la calidad de un alimento (Rodríguez et al., 2007). En la Figura 6 y Tabla 3, se muestran los porcentajes de digestibilidad de la materia seca. La digestibilidad mayor correspondió a la accesión CT-115 (75.15 %), mostrando diferencia estadística ($p < 0.05$) con Maralfalfa (65.51 %) que obtuvo el porcentaje más bajo de digestibilidad. Oña y Tucupi (2025) también mencionan la composición nutricional de un apasto depende de las técnicas de manejo y fertilidad del suelo.

Ledea-Rodríguez et al. (2021) evaluó la composición química y nutricional de rebrotes de la variedad de *Cenchrus purpureus* en 4 diferentes edades de corte (60, 80, 100 y 120) reportaron digestibilidad de 46.22 hasta 57.34 % sin embargo los porcentajes son inferiores a los de esta investigación tomando en cuenta que ellos realizaron la cosecha en temporada de lluvia, en esta investigación el porcentaje de digestibilidad del pasto CT-115 fue de 75 %, este porcentaje superior podría atribuirse a la edad del establecimiento de las parcelas, ellos mencionan que sus parcelas tenían seis años de siembra, diferente a esta investigación donde solo tenía un año de establecimiento.

Tabla 3. Composición química, fracciones de fibra y digestibilidad de 4 accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Accesión	Digestibilidad (%)	Lignina (%)	FDN (%)	FDA (%)	Proteína cruda (%)	Cenizas (%)	Sílice (%)
Maralfalfa	65.51 ^b	8.31 ^a	68.89 ^b	45.33 ^a	10.34 ^a	9.00 ^a	0.0016 ^b
Taiwán	68.16 ^{ab}	7.72 ^a	75.69 ^a	47.05 ^a	9.40 ^{ab}	8.07 ^a	0.0013 ^b
Roxo	74.36 ^a	4.58 ^b	73.52 ^a	44.66 ^a	9.18 ^{ab}	9.47 ^a	0.0029 ^a
CT 115	75.15 ^a	8.04 ^a	72.73 ^{ab}	44.72 ^a	7.79 ^b	9.18 ^a	0.0018 ^{ab}
EE	1.89	0.61	1.13	0.87	0.51	0.39	0.00028

Nota. Las medidas por columna con distinta lateral indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

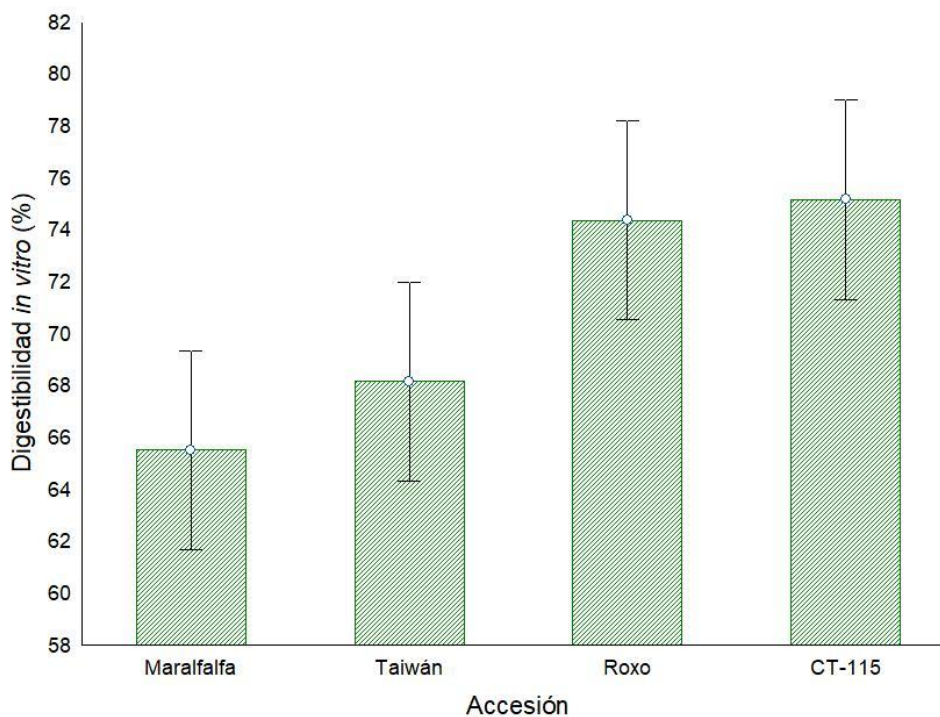


Figura 1. Digestibilidad *in vitro* de las accesiones de *Cenchrus purpureus*.



Componentes de fibra

La FDN, FDA y lignina son indicadores de fibra que no puede digerir el animal (Rodríguez et al., 2007), en esta investigación se puede observar en la Tabla 3 el porcentaje más bajo de FDN de la accesión Maralfalfa con 68.89 % y el más alto 75.69 % al pasto Taiwán. Por otro lado, para el FDA el contenido más bajo (44.66 %) para la accesión Roxo y el porcentaje más alto (47.05 %) a la accesión Taiwán, sin embargo, no existió diferencia estadística ($p>0.05$) entre ninguna de las 4 accesiones de *Cenchrus purpureus*. También el análisis demostró que el valor mayor de Lignina (8.31 %) de Maralfalfa afectó su digestibilidad y como el contenido de Lignina más bajo (4.58 %) de Roxo benefició su digestibilidad esto confirma lo mencionado por Van Kuijk et al. (2015) el contenido de lignina funciona como una barrera que impide que los microorganismos presentes en el rumen accedan a la celulosa y hemicelulosa perjudicando la digestibilidad de los alimentos, al ser más alta el contenido de lignina, descenderá más la digestibilidad. El aumento de lignina en los forrajes es producto del estado de madurez de la planta (Rosales y Pinzón, 2005).

La sílice se encuentra en mayor cantidad en las hojas de las gramíneas que en los tallos y su acumulación tiene efectos sobre la digestibilidad (Gallardo et al., 2023). Sin embargo, la presencia de sílice en las plantas sirve como beneficio para combatir estrés biótico y abiótico al que pueden llegar a estar presentes los pastos (Aguirre et al., 2014). El contenido de sílice en esta investigación no influyó en la digestibilidad de las accesiones de *Cenchrus purpureus*, en la Tabla 3 se observa como el valor más alto de sílice no afectó notoriamente la digestibilidad, así como el valor más bajo no tuvo un efecto relevante en la digestibilidad como lo mencionan Ramírez et al. (2002) que la sílice tiene un efecto negativo de aproximadamente 3 % en la digestibilidad de la materia seca.

Cenizas

La presencia de cenizas en los pastos es un indicador de contenido de minerales presentes (Herrera et al., 2008). En la Tabla 3 se observan 9.47 % para el pasto Roxo y 8.07 % del Taiwán, siendo el más bajo, pero no representó diferencia estadística ($p>0.05$) entre ninguno de los pastos de *Cenchrus purpureus*.



Ventura et al. (2019) Ellos reportan un promedio de 9.4 % de cenizas en el pasto Maralfalfa este porcentaje es muy similar a los reportados en esta investigación el cual presento un rango de 8.07 % hasta 9.47 % estas similitudes podrían derivarse a que ambas fueron desarrolladas en un clima subhúmedo en una zona tropical, ellos también mencionan que el contenido de cenizas en los pastos podría estar sujetas a ubicaciones geográficas y al estado fisiológico de la planta.

Proteína cruda

Para la variable de proteína cruda existió diferencia estadística ($p < 0.05$) (Tabla 3) entre las accesiones, solo entre Roxo y Taiwán no existió diferencia estadística ($p > 0.05$), el valor más alto de proteína lo obtuvo Maralfalfa (10.34 %). Maldonado-Méndez et al. (2024) reportaron un valor más alto de proteína cruda de 16.26 % en pasto Maralfalfa sin embargo ese porcentaje corresponde a una edad de 28 días. (Apráez et al., 2019) mencionan que las condiciones climáticas afectan la calidad de los pastos. Por lo tanto, en esta investigación al ser una zona tropical posiblemente la proteína se vio afectada por los efectos ocasionados por el clima.

Efecto de la edad sobre la composición nutricional y química

En la Tabla 4 se presenta los datos del análisis estadística de ANDEVA de una vía que se realizó al efecto de la edad corte sobre el contenido de fibra, digestibilidad, minerales y proteína.

La digestibilidad de la materia seca fue superior a 50 % en las tres edades de corte en Tabla 4, se observó efecto negativo de la edad sobre la digestibilidad, a medida que la edad se incrementa la digestibilidad disminuye. El corte de las accesiones a 60 días presento mayor digestibilidad, estos valores fueron más altos a los reportados por Reyes-Pérez et al. (2019) donde evaluaron dos accesiones de *Cenchrus purpureus* a la edad de 60 días reportan 54.56 % en pasto Morado y 54.51 % en pasto Maralfalfa por otro lado a la edad de 90 días reportan 52.96 % en pasto Morado y 53.65 % para Maralfalfa siendo estos valores inferiores a los presentados en esta investigación a la edad de 60 días (76.70 %) y 90 días (70.34 %), hay que considerar que las variaciones podrían ser

consecuencia de distintas condiciones climatológicas de la región como la precipitación y temperatura sin embargo el contenido de fibra afecta la digestibilidad.

Ledeo-Rodríguez et al. (2021) reportó valores de digestibilidad a 60 días de corte similares a los de esta investigación en el pasto CT-601 (67.26 %), CT-603 (78.77 %), y CT-115 (69.01 %) variedades correspondientes a *Cenchrus purpureus* estos porcentajes son cercanos a al reportado en esta investigación a la edad de 60 días (76.70 %). Este acercamiento de porcentajes podría tener origen a que ambos estudios se desarrollaron en condiciones climatológicas correspondientes a zonas tropicales.

Tabla 4. Contenido de fibra, digestibilidad de las accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Edad de corte (días)	Digestibilidad (%)	Lignina (%)	FDN (%)	FDA (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Sílice (%)
60	76.70 ^a	6.72 ^a	71.32 ^a	42.87 ^b	11.00 ^a	9.89 ^a	0.0017 ^a
90	70.36 ^b	7.71 ^a	73.33 ^a	46.95 ^a	8.38 ^b	9.14 ^b	0.0020 ^a
120	65.32 ^c	7.05 ^a	73.47 ^a	46.50 ^a	8.15 ^b	7.76 ^c	0.0020 ^a
EE	1.09	0.47	0.94	0.59	0.28	0.21	0.00024

Nota: las medidas por columna con distinta lateral indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

El contenido de pared celular (Tabla 4) mostro más FDN a 120 días y más FDA a 90 días y solo en esta variable hubo diferencia estadística a la edad de 60 días ($p < 0.05$). Por otro lado, lignina también fue mayor a la edad de 120 días también se observó que a mayor edad el contenido de componentes celulares aumenta confirmando lo reportado por Medrano et al. (2024) donde ellos analizaron el pasto CT-115 en cinco edades de corte y observo el incremento de FDN, FDA y lignina al aumentar la madurez de la planta.

Ventura et al. (2019) obtuvieron porcentajes inferiores de FDN, FDA y lignina a los reportados en esta investigación. Estos autores analizaron el contenido de FDN y FDA del pasto Maralfalfa cosechado a 4 edades. Los valores encontrados de FDN y FDA fueron de 50-60 % y la lignina entre 4 % en las edades de 60 y 90 días. Estas cantidades

son inferiores a las presentadas en esta investigación. Sin embargo, el estudio de Ventura et al. (2019) lo desarrollaron en una zona con un clima subhúmedo, y solo analizaron la accesión Maralfalfa, contrario a este estudio donde se realizó en una zona tropical y se analizaron 4 variedades. Esta podría ser la razón de las diferencias y variaciones entre ambos estudios.

También se observa en esta investigación el aumento de sílice a medida que incrementa la edad, recordemos en zonas tropicales las plantas están expuestas a estrés hídrico por las altas temperaturas de las zonas y de acuerdo con lo mencionado por Aguirre et al. (2014) la sílice al actuar como defensor del estrés hídrico se entiende que aumenta su contenido, tal y como se observa en la Tabla 4. El incremento del contenido de sílice se asocia con la edad de la planta, los autores mencionados anteriormente definen que entre más madura es la planta requiere mayores cantidades de nutrientes del suelo, incluyendo el agua. El contenido de proteína de las accesiones de *Cenchrus purpureus* se vio afectada por la madurez de la planta (Figura 7). Se observa que el contenido de proteína disminuye de 11 % a 8.15 % conforme aumenta la edad de corte.

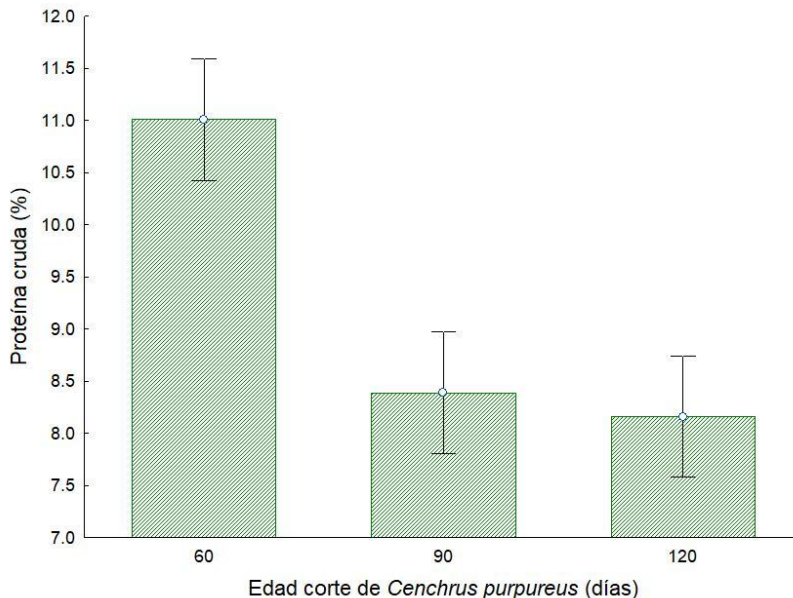


Figura 2. Contenido de proteína cruda de *Cenchrus purpureus* cosechado a 60, 90 y 120 días.



Estos resultados son similares a los presentados por Maldonado-Méndez et al. (2024). Ellos evaluaron 6 edades de corte en pasto Maralfalfa, ellos reportan la disminución desde 16.26 % (28 días de rebrote) hasta 7.16 % (96 días de rebrote). Concluyendo que los porcentajes de proteína disminuyen a medida que la planta incrementa su edad. El corte realizado a 60 días en esta investigación presentó diferencia significativa ($p < 0.05$).

La disminución del contenido de proteína a medida que aumenta la edad de las accesiones de *C. purpureus*, encontrado en esta evaluación, también coincide con los hallazgos de Medrano et al. (2024). En su investigación evaluaron el contenido de proteína cruda de *Cenchrus purpureus* en dos edades de rebrote (60 y 90 días). A la edad más corta, se estimó un valor de 9.37 %, mientras que a 90 días 5.79 %. Estas cantidades son inferiores a las observadas en esta investigación (Tabla 4). Sin embargo, también se confirma la disminución del contenido proteico por efecto de la edad.

El contenido de minerales de *Cenchrus purpureus* se vio afectado por la edad de corte. La concentración de cenizas disminuye a medida que la edad de corte aumenta. Según Villalobos y Arce (2014) estas variaciones en los minerales también pueden ser un efecto de la cantidad de minerales absorbidos por las plantas en respuesta a la cantidad de agua presente en el suelo.

Por su parte Medrano et al. (2024) observaron una disminución del contenido de cenizas conforme la planta madura (CT-115). Estos autores concluyen que las variaciones pueden ser originadas por distintas condiciones edafoclimáticas debido a que este estudio fue realizado en Honduras, esto hace referencia a la distinta presencia de precipitaciones y la distinta composición química del suelo que es absorbida por la planta.

Así mismo, Ventura et al. (2019) evaluaron Maralfalfa en la ciudad de Isla Veracruz. En su reporte indican que el contenido de cenizas a 30 días de corte fue de 11.7 % y de 7.4 % cuando se cosechó a 120 días. En su investigación fue evidente la tendencia a la baja del contenido de cenizas a mayor edad, coincidiendo nuevamente con lo observado en esta investigación.

Producción de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) de las accesiones

La producción de CO₂ y CH₄ fue menor en la accesión Maralfalfa sin embargo no existió diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las demás accesiones (Tabla 5). se puede observar que hubo mayor producción de CO₂ que de CH₄ aunque se sabe que el metano es más potente porque atrapa más calor por molécula en la atmosfera que el CO₂ pero dura menos tiempo en la atmosfera. Camacho-Escobar et al. (2020) reportan valores de 31.00 hasta 72.78 mL g⁻¹ MS de CH₄ y 97.67 hasta 134.68 mL g⁻¹ MS de CO₂ son superiores a los de esta investigación. Estos autores evaluaron los pastos Taiwán, Maralfalfa, *Panicum máximum* y *Cynodon nlemfuensis*. Sin embargo, la metodología que utilizaron para cuantificar la producción de gases contemplo el uso de un cromatógrafo de gases. En su investigación reportan adicionalmente que la microflora del rumen ejerce un efecto sobre la producción de GEI.

Tabla 5. Producción de dióxido de carbono y metano por la técnica *in vitro* de accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Accesión	CO ₂ mL g ⁻¹ MS	CH ₄ mL g ⁻¹ MS
Maralfalfa	12.35 ^c	3.46 ^c
Taiwán	14.74 ^{cb}	6.67 ^{cb}
Roxo	16.41 ^{ba}	7.48 ^b
CT-115	18.80 ^a	13.20 ^a
EE	0.91	0.97

Nota: las medidas por columna con distinta lateral indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

Producción de CO₂ y CH₄ respecto a las edades de corte

La producción de CH₄ y CO₂ presentó menores cantidades a los 60 días de corte, sin embargo, no existió diferencia significativa entre los cortes en ninguna de las variables (Tabla 6). Por otro lado, estos valores coinciden con Morsy et al. (2022) quienes mencionan que la composición del alimento y contenido de fibra tiene relación con el aumento de producción de metano.



Tabla 6. Producción de dióxido de carbono y metano por la técnica *in vitro* respecto a las edades de corte.

Edad (días)	CO ₂ mL g ⁻¹ MS	CH ₄ mL g ⁻¹ MS
60	14.46a	6.20a
90	15.48a	7.99a
120	16.78a	8.92a
EE	0.79	0.84

Nota: las medidas por columna con distinta lateral indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

Los indicadores de fibra en esta investigación se puede observar a 60 días de edad, menor contenido de FDN, FDA y lignina. También existen otros factores como los carbohidratos no estructurales que accionan como energía para aumentar el crecimiento microbiano lo que aumenta la producción de metano (Morsy et al., 2022). Sin embargo, en esta investigación se utilizó un sensor de dióxido de carbono (Vernier Or) para medir el CO₂ y por diferencia cuantificar el metano. Hasta el momento de la publicación de esta investigación no existen reportes de resultados que sean parecidos ó metodologías similares a la utilizada para la medición de dióxido de carbono y metano. Ventura et al. (2019) evaluaron el pasto Maralfalfa a 4 edades de corte (30, 60,90 y 120). Estos autores reportan niveles más altos de metano (11.1 %) y dióxido de carbono (88.8 %). Estos resultados no coinciden con los presentados en esta investigación porque son valores más elevados sin embargos ellos lo reportan en porcentaje y en esta investigación en mL. También se considera que la diferencia podría ser consecuencia de las distintas técnicas utilizadas para medir la producción de gases.



7. Conclusiones

La edad de corte tuvo un efecto positivo sobre la digestibilidad y contenido de proteína cruda en las accesiones de *Cenchrus purpureus*. Lo anterior confirma que, al realizar la cosecha de estos forrajes a menor edad, menor es también la cantidad de fibra. Esto facilita la actividad microbiana ruminal.

Los mejores atributos de digestibilidad los presento CT-115. Sin embargo, tiene bajo contenido de proteína, pero si se busca mayor contenido de proteína se puede considerar Maralfalfa sin dejar de considerar su cantidad de fibra.

La edad de corte a 60 días disminuye la producción de gases. Sin embargo, esto puede estar relacionado con distintos factores como madurez de la planta, presencia de carbohidratos o población microbiana.

La producción de metano y dióxido de carbono fueron más bajos a los reportados en otras investigaciones sin embargo esto tiene relación con la composición química y digestibilidad de los pastos.

La accesión CT-115 es el pasto que mayor producción de gases presenta, sin embargo, se puede considerar cosecharla a 60 días, en donde existe menor producción de gas y menor cantidad de lignina, así mismo también alto contenido de proteína, por otro lado, la accesión que produce menos cantidades de gases en el pasto Maralfalfa de igual forma si se considera el corte a 60 días la producción de gases podría mejorar aún más.



8. Recomendaciones

Se recomienda corte a 60 días en cualquiera de las accesiones por su efecto sobre la digestibilidad y mayor contenido de proteína cruda y una menor producción de gases de efecto invernadero. Sin embargo, respecto a la producción de gases, se aconseja continuar con este tipo de ensayos y sobre la población microbiana y sus efectos, ya que existen pocos estudios que ayuden a esclarecer posibles causas y efectos.

Se recomienda seguir evaluando las características nutricionales, efecto de la población microbiana en el rumen y su relación con la producción de gases especialmente en zonas tropicales y en *Cenchrus purpureus* donde la información es limitada. También seguir realizando investigación utilizando el Vernier Or para esclarecer su confiabilidad en la medición de gases.



9. Literatura citada

- Aburto, J. P. A. (2022). El planeta amenazado y amenazante por el cambio climático. *Revista Humanismo y Cambio Social*, (19), 152-169. <https://orcid.org/0000-0001-5949-2167>
- Aguirre, J., Gómez- García, D., Azorín, J., y Fillat, F. (2014). Contenido en sílice y su variación en algunas plantas abundantes en los pastos de los Pirineos. <http://hdl.handle.net/10261/110280>
- Alayón-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Piñeiro-Vázquez, Á. T., Canul-Solís, J., Albores-Moreno, S., Villanueva-López, G., Nahed-Toral., y Ku-Vera, J. C. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agro Productividad*, 11 (2). <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i2.112>
- Alfaro, M. y Muñoz, C. (2012). Ganadería y gases de efecto invernadero. Informativo INIA Remehue, (90). www.inia.cl
- Almaraz-Buendía, I., García, A. M., Santillán, P. S., Salado, N. T., Pérez, J. H., Luzardo, M. B., y García, A. R. (2019). Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. *Archivos de zootecnia*, 68(262), 260-266.
- Alonso-Spilsbury, M., Ramírez-Necoechea, R., y Taylor-Preciado, J., D., J. (2012). El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(11), 1-25.
- Álvarez P. G. R., Barba C. C., Velasco M. A. E., Samaniego, A. M. C., Jacho M. T. E., Muñoz, C. J. A., Fernández, C. C. A., Ramírez de la Ribera, J. L., Zambrano C. N. G., y Chacón, M. E. (2017). La especie *Cenchrus purpureus* una alternativa para la producción de forraje. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(4), 1-10. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040417.htm>



- Álvarez-Adán, A. (2019). Variación de los periodos de crecimiento para tres pastos tropicales, bajo los efectos del cambio climático. *Pastos y forrajes*, 42 (2), 104-113.
- Apráez, E., Gálvez, A., y Apráez, J. (2019). Factores edafoclimáticos en la producción y calidad del pasto Saboya (*Holcus lanatus L.*) en el Altiplano de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 16-32. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.95>
- Arrieta-González A, Silva-Martínez K. L., Vite-Cristóbal, C., Rodríguez-Andrade, A., & Hernández-Beltrán, A, *et al.* (2024). Agronomic traits of seven accessions of *Cenchrus purpureus* under rainfed conditions in the tropical region of Veracruz, México. *Grass Research* 4.: e023 <https://doi.org/10.48130/grares-0024-0022>
- Arroyo, M., y Ramírez-Monroy, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Anales de Química*, 116(2), 81-81.
- Benaouda, M., González, R. M., Molina, L. T., y Castelán, O. O. A. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 965–974.
- Blanco-Penedo, I., Cantalapiedra, J, y Llonch, P. (2020). Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos. *Información Técnica Económica Agraria*, 116(5), 424-443. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.028>
- Bonilla C., J. A., y Lemus F. C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2), 215-246.
- Buitrago-Guillen, M. E., Ospina-Daza, L. A., y Narváez-Solarte, W. (2018). Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 22 (1), 31-42. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital*



universitaria, 8 (10), 1-12.
<http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>

Calzada-Marín, J. M., Ortega-Jiménez. E., Enríquez-Quiroz, J. F., Hernández-Garay, A., Vaquera-Huerta, H., y Escalante-Estrada, J. A. (2018). Análisis de Crecimiento del Pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum) en clima cálido subhúmedo. *Agro Productividad*, 11 (5), 69-75.

Camacho-Escobar, M. A., Galicia-Jiménez, M. M., Sánchez-Bernal, E. I., Ávila-Serrano, N. Y., y López-Garrido, S. J. (2020). Producción de metano y dióxido de carbono *in vitro* de pastos tropicales de la costa de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 425-434. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.628>

Carmona, J. C., Bolívar, D., y Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18 (1), 15-15. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.323994>

Carro-Travieso, M. M. D., Evan, D. T. y González, C. J. (2018). Emisiones de metano en los animales rumiantes influencia de la dieta. *Albóitar*, 220, 32-35. https://oa.upm.es/54818/1/INVE_MEM_2018_296591.pdf

Cervantes, R. A., Angulo, G. V., Tavizón, E. F., y González, J. R. (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y ciencia*, 22(61), 48-53.

Costantini, A. O., Perez, M. G., Busto, M., González, F. A., Cosentino, V. R. N., Romaniuk, R. I., y Taboada, M. A. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias*, 68 (5), 47-54. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/4389>

Donohoe, M. (2023). Cambio climático: causas, consecuencias, negligencia empresarial, pseudociencia y un llamamiento a la acción. *Medicina Social*, 16 (2), 86-94. www.medicinasocial.info



- Farrell, G., Simons, S. A., & Hillocks, R. J. (2002). Pests, diseases and weeds of Napier grass, *Pennisetum purpureum*: A review. *International Journal of Pest Management*, 48(1), 39-48. <https://doi.org/10.1080/09670870110065578>
- Fernández-González, F., Loidi, J., Moreno, J. C., Del Arco, M., y Fernández-Cancio, A. (2005). Impactos sobre la biodiversidad vegetal. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*, 183-247.
- Gallardo, J. A., Díaz, M. L., Garayalde, A. F., y Echenique, C. V. (2023). *La producción de fitolitos en pasto Lloron y su relación con la calidad forrajera*. Universidad Nacional del Sur.
- González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista salud pública y nutrición*, 8(2), 1-7.
- Gurrola, A. G., Olguin, J. L. L., Ramírez, J. C. R., y Meza, J. A. B. (2020). Composición química y producción del pasto *Pennisetum sp* (Maralfalfa) en la época de secas en diferentes cortes. *EducaTeconciencia*, 28(29), 268-278. <https://doi.org/10.58299/edu.v28i29.26>
- Haque, M.N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*. 60(15). <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>
- Herrera, R. S., Fortes, D., García, M., Cruz, A. M., y Romero, A. (2008). Estudio de la composición mineral en variedades de *Pennisetum purpureum*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42 (4), 395-401.
- Hinckley, M. (2024). El cambio climático. *COD in Lingua*, 3(1). <https://dc.cod.edu/codinlingua/vol3/iss1/5>
- Huws, S. A., Creevey, C. J., Oyama, L. B., Mizrahi, I., Denman, S. E., Popova, M., Muños-Tamaño, R., Forano, E., Waters, S. M., Hess, M., Tapio, M., Smitd, H., Krizsan, S. J., Yañez-Ruiz, D. R., Balanche, A., Guan, L., Gruninger, R. J., Snelling, T.J., Waston, M., Suen, G., Hart, E. H., Kingston-Ssmith, A.H., Scollan, N. D., Prado,



- R. M., Pilau, E. J., Mantovani, C. H., Attwood, G. T., Edwards, J. E., y Morgavi, D.P. (2018). Abordar los desafíos globales de la agricultura de rumiantes mediante la comprensión del microbioma del rumen: pasado, presente y futuro. *Fronteras en microbiología*, 9, 2161. <https://doi:10.3389/fmicb.2018.02161>
- Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). *Compendio de información geográfica municipal Tantoyuca Veracruz de Ignacio de la Llave*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30155.pdf
- Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (2025). INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=30155>
- Jaime, A., Rosemberg, M., y Echevarría, M. (2019). Efecto de la edad y estación sobre el rendimiento y valor nutritivo del pasto Elefante morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*) en la costa central. *Scientia Agropecuaria*, 10 (1), 137-141. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.15>
- La Alianza Global para el Clima y la Salud. (2023). Mitigación del Metano del Sector Agroalimentario. <https://climateandhealthalliance.org/wpcontent/uploads/2023/10/MethaneReport-Ag-ES.pdf>
- Ledea-Rodríguez, J. L., La O-León, O., Verdecia- Acosta, D., Benítez- Jiménez, D. G., y Hernández- Montiel, L. G. (2021). Composición química-nutricional de rebrotes de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone durante la estación lluviosa. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24 (54), 1-13.
- Ledea-Rodríguez, J. L., Verdecia-Acosta, D., Orestes, L. O., Ray-Ramírez, J. V., Reyes-Pérez, J. J., y Murillo-Amador, B. (2018). Caracterización química de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 655-672. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.3210> Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43756297013>
- López, S. F. (2020). *Emisión de gases de efecto invernadero*. Elearning, SL.



- Luque, J. (2015). El óxido nitroso y su influencia en el calentamiento global, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), 75-82. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11844>
- Maldonado-Méndez, J. D. J., Gálvez-Marroquín, L. A., Guerra-Medina, C. E., Basurto-Gutiérrez, R., Escobar-España, J. C., & Monterrosa del Toro, A. (2024). Yield and nutritional value of *Cenchrus purpureus* VC Maralfalfa grass. *Agro Productividad*, 17 (7), 35-42.
- Marín-López, D., Matamoros-Ochoa, I. A., y Ramírez-Restrepo, C. A. (2022). Dinámicas de producción y emisiones modeladas de gases de efecto invernadero en sistemas regionales de producción lechera de Honduras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 46-62. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101526>
- Marumo, J. L., La Pierre, P. A., & Van Amburgh, M. E. (2023). Enteric methane emissions prediction in dairy cattle and effects of monensin on methane emissions: A meta-analysis. *Animals*, 13(8), 1392.
- Medrano, E. A., Martínez-Banegas, C.C., Martínez-Aguilar, Y., Verdecia-Acosta, D. M. y Herrera, R. S. (2024). Calidad nutritiva de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone cv. Cuba CT-115 en condiciones edafoclimáticas de Zamorano, Honduras. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 58. <https://cu-id.com/1996/v58e03>
- Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N. J., y Teran-Gómez, V. F. (2016). Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 135-144. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)135-144](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)135-144)
- Morrison, R.T y Boyd, R.N (1998). *Química orgánica*. Educación Pearson.
- Morsy, T. A., Gouda, G. A., & Kholif, A. E. (2022). *In vitro* fermentation and production of methane and carbon dioxide from rations containing Moringa oleifera leave silage



- as a replacement of soybean meal: *In vitro* assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(46), 69743-69752. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20622-2>
- Navarro, R. J. M. (2022). *Bases de la producción animal. Volumen II: Anatomía y fisiología digestiva de animales de interés zootécnico*. Universidad Miguel Hernández.
- Oña, O. L. M., y Piniantza, T. F. M. (2025). Evaluación agronómica y nutricional de gramíneas tropicales empleadas en sistemas de alimentación animal en el trópico. *PRISMA Amazónico*, 2 (2), 34–39.
- Paccha, M., Alvarado-Jaramillo, V., Heidinger, H., Ramos-Fernandez, L. (2024). Medición de gases de efecto invernadero en suelos agrícolas y ganaderos mediante cámaras estáticas cerradas en el sector Zalapa, ciudad de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 4(1), 137-149. <https://doi.org/10.54753/blc.v14i1.2129>
- Paredes, K. P. T. (2022). Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e215-e215.
- Ramírez O. R., Ramírez Lozano, R. G., y López Gutiérrez, F. (2002). Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL*, 5 (2).
- Reyes-Pérez, J. J., Méndez-Martínez., Ledea-Rodríguez, J. L., Luna-Murillo, R. A., Espinosa-Coronel, A. L., Valencia-Neto, M. E., Cedeño-García, M. G., y Álvarez-Perdomo, G. R. (2019). Productividad y calidad forrajera de variedades de *Cenchrus purpureus* en la zona de la Maña, Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 701-712.
- Reyes-Santamaría, M. I., Toledo-Cabrera, D., López- Santiago, A. I., Pacheco-Trejo, J., Saucedo-García, M., y Madariaga-Navarrete, A. (2023). Impacto del cambio climático sobre la fotosíntesis, fotorrespiración y respiración de plantas C₃. *Boletín*



De Ciencias Agropecuarias Del ICAP, 9(Especial), 6-11.
<https://doi.org/10.29057/icap.v9iEspecial.8764>

Rivas-Martínez, M. I., Cobos-Peralta, M. A., Ley-de Coss, A., Bárcena-Gama, J. R. y González-Muñoz, S. S. (2023). *In vitro* methane production and fermentative characteristics from temperate and tropical grasses. *Ecosistemas y recursos agropecuarios, 10*(1).

Robertson, G. P. y Groffman, P. M. (2024). Transformaciones del nitrógeno. En *Microbiología, ecología y bioquímica del suelo.* 407-438.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822941-5.00014-4>

Rodríguez, N. M., Saliba, E. O. S., y Guimarães-Júnior, R. (2007). Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 20*(4), 12.

Rojas- Downing, M. M., Nejadhashemi A. P., Harrigan T., & 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>

Rosales, R. B., y Pinzón, S. S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia y tecnología agropecuaria, 6* (1), 69-82.

Rosi, P. E. (2010). Introducción a la representación molecular.
<https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2023/06/Representacion-molecular.pdf>

Sánchez, M. B., Flores, V. S., Rodríguez, H. E., Anaya, E. A. M., y Contreras, C. E. A. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias, 11*, 126-145.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>



- Segura Canizales, F. (1989). Principios básicos de la fisiología digestiva en rumiantes. La biblioteca Agropecuria de Colombia. 102-111. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/29982>
- Sepúlveda-Jiménez, G., Ducoing, H. P., y Sosa, M. R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista mexicana de fitopatología*, 21(3), 355-363. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>
- Sistema de Información Estadística y Geográfica del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER). 2020. Cuadernillos municipales 2020. Veracruz: Gobierno del Estado. <https://bit.ly/348PdyJ>
- Sosa, De Pro, E. (1979). Manual de Procedimientos Analíticos para Alimentos de Consumo Animal. Chapingo México.
- Taboada, M. A., Cosentino, V. R. N., y Costantini, A. O. (2018). Emisiones de óxido nitroso desde suelos agrícolas y alternativas para mitigarlas.
- Thomson, A. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E. M., & Richardson, D. J. (2012). Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions Of The Royal Society*, 367, 1157-1168. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0415>
- Valles de la Mora, B., Castillo G. E., y Bernal B. H. (2016). Rendimiento y degradabilidad ruminal de materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(2), 141-158.
- Valtierra, J. M. (2010). La dieta del dióxido de carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53.m
- Van Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H. & Cone, J. W. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. *Biotechnology Advances*, 33(1), 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.014>



- Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de zootecnia*, 61, 51-66.
- Velázquez Espinoza, E. (2021). Actividad ganadera y contaminación ambiental. In *Anales de la Real Academia de Doctores* 6(2), 245-260.
- Ventura R. J., Reyes- Vázquez, I., García, S. A., Muñoz, G. C., Muro R. A., Maldonado - Peralta, M. D. L. Á. y Cruz Hernández, A. (2019). Rendimiento, perfiles nutrimental y de fermentación ruminal *in vitro* de pasto Maralfalfa (*Cenchrus purpureus Schumach.*) Morrone a diferentes frecuencias de corte en clima cálido. *Acta universitaria*, 29. <http://doi.org/10.1574/au.2019.2224>
- Villalobos, L., y Arce, J. (2014). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 133-145.
- Villanueva-Avalos, J. F., Vázquez-González, A., y Quero-Carrillo, A. R. (2022). Atributos agronómicos y producción de forraje en ecotipos de *Cenchrus purpureus* en condiciones de trópico subhúmedo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(27), 1-9. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3147>
- Zamora-Morales, B. P., Mendoza-Cariño, M., Sangerman-Jarquín, D. M., Quevedo Nolasco, A., y Navarro Bravo, A. (2018). El manejo del suelo en la conservación de carbono orgánico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9 (8), 1787-1799.



ANEXOS



GOBIERNO DEL ESTADO DE
VERACRUZ
2024 - 2030

SEV
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
DE VERACRUZ

SEMSyS
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR



DET
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN
TÉCNICA



FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS DE POSGRADO

Tantoyuca, Ver., a 12 de agosto de 2025.

C. Mayra Sánchez Rodríguez
PRESENTE:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: Dr. Armando Arrieta González
SECRETARIO: Dra. Karla Lissette Silva Martínez
VOCAL: Dr. José Isidro Alejos de la Fuente
SUPLENTE: Dra. Erika Andrea Hernández

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:

Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

"Características nutricionales, producción de metano y dióxido de carbono de forrajes de corte"

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Producción Pecuaria Tropical**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras doradas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

Dr. Julio Meza Hernández
Director Académico

C.c.p. Servicios Escolares.
Titulación de Posgrado



**POR AMOR A
VERACRUZ**

Desviación Lindero Tametate S/N, Col. La Morita, C.P. 92100, Tel: (+52) 789 893 2503 ext. 101
www.itsta.edu.mx

R02/0820

F-PG-03



GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ 2024 - 2030

SEV SECRETARÍA DE EDUCACIÓN DE VERACRUZ

SEMSys SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR



DET



Tantoyuca, Veracruz a 12 de agosto de 2025

Yo, Mayra Sánchez Rodríguez, alumno (a) de la carrera de Maestría Producción Pecuaria Tropical, con numero de control M233S0005, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: Características nutricionales, producción de metano y dióxido de carbono de forrajes de corte, desarrollado en: Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, durante el periodo comprendido del 01 de octubre 2023 al 01 de septiembre del año 2025 del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho} proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

Vo. Bo.

Mayra Sánchez Rodríguez

Nombre y firma del(a) alumno(a)

Dr. Armando Arrieta González

Nombre y firma del asesor interno.







Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* es una técnica para determinar el contenido celular que digiere por las bacterias del líquido ruminal.

Material:

- Baño maría que alcance temperatura de 60 °C
- Jeringa automática de 100 mL
- Tubos de 100 mL
- Tapones de hule
- Crisoles de porcelana
- Agitadores con gendarme

Reactivos:

- Saliva de Mc Dougal
- Líquido ruminal

Procedimiento:

1. Pesar 0.25 g de muestra y depositarlos en el tubo de 100 cm³
2. Separa los tubos que serán blancos (a los tubos blancos se les agrega los mismos reactivos excepto muestra).
3. Adicionar 20 cm³ de solución, saliva de McDougal.
4. Enseguida adicionar con una jeringa 5 cm³ de líquido ruminal, y una corriente de CO₂, rápidamente tapar los tubos con los tapones de goma.
5. Colocar rápidamente los tubos en el baño maría a 39 °C

6. Agitar ligeramente, esto debe realizarse tres veces al día.

Pasadas las 72 horas el contenido de los tubos se vacía en vasos de Berzelius de 100 cm³, se lava bien el tubo de digestibilidad con 20 cm³ de detergente neutro, dicho detergente se agrega junto en el vaso de Berzelius.

Se coloca a hervir a flujo por 60 minutos. Al final se filtra en un crisol con fibra de vidrio el cual ya debe de estar pesado y seco, se le agrega pequeñas cantidades de agua caliente con ayuda de una piseta hasta eliminar todo el detergente, una vez enjuagados los crisoles de las muestras se colocan en una estufa de secado por 12 horas a una temperatura de 100 °C. como paso final se pesa los crisoles los cuales contienen la materia no digerida (FDN).

$$\%DIVMS \frac{g\ msi - (gmsn - gmsb)}{gmsi} \times 100$$

Donde:

DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca.

gMSi= g de materia seca inicial

g msn= g de materia seca no digerida.

g msb= g de materia seca del blanco.



Figura 8. Tubos de digestibilidad preparados con la muestra y tapados con taponés de goma.



Figura 9. Muestras hirviendo para filtrar.

Dióxido de carbono *in vitro*

Material:

- Sensor de dióxido de carbono
- Regla
- Embace de plástico

Procedimiento:

Para poder medir esta variable se utilizan los mismos tubos y procedimiento de digestibilidad *in vitro*, en los tapones de goma de los tubos de digestibilidad se le coloca una jeringa de 100 mL con la finalidad de capturar el gas producido por la actividad de las bacterias al degradar el pasto, cada medición del gas se realizaba cada 24 horas con un sensor de dióxido de carbono. Se retiraba la jeringa de la aguja tapando el orificio para evitar el escape de gas, dicho gas se depositaba en un frasco en donde en seguida se introdujo el censor el cual comenzaba a registrar en un software dicha cantidad de gas producida. También se realizó una segunda medición, con la regla se media la distancia que había subido el embolo de la jeringa.



Figura 10. Jeringas colocadas para capturar los gases.



Figura 11. Sensor de dióxido de carbono Vernier Or.



Cenizas

Materiales:

- Crisol de porcelana, secos y pesados a peso constante.
- Mufla
- Triángulo de porcelana
- mechero

Procedimiento:

pesar un crisol limpio y seco, enseguida adicionar 1 g de muestra, después preincinerar sobre el triángulo de porcelana hasta que desaparezca el humo, luego meterlas a la mufla a 500° C durante 2 horas, al finalizar el tiempo mencionado retirar de la mufla y enfriar al ambiente a hasta considerar una temperatura de 80 °C- 100 °C, posteriormente se colocan en el desecador para que terminen de enfriar y finalmente se pesan las muestras.

$$\% \text{ Cenizas}_{\text{BH}^*} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Materia orgánica}_{\text{BH}} = \% \text{ Materia seca} - \% \text{ de Cenizas}_{\text{BH}}$$

BH* = Base húmeda

$$\text{BS} = \frac{\% \text{ Base seca}}{\% \text{ Materia seca}} \times 100$$



Figura 12. Incineración de la muestra para cenizas.



Figura 13. Cenizas

Determinación de Proteína cruda

Materiales:

- Matraz Kjeldahl de 800 cm³ (dependiente la cantidad de muestras)
- Digestor
- Piedras de ebullición
- Matraz Erlenmeyer

Reactivos:

- Mezcla catalizadora
- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Acido bórico
- Solución indicadora
-



Procedimiento:

1. Pesar por diferencia alrededor de 0.5 g de muestra, o una cantidad tal que al titular se gasten entre 20 y 30 cm³ de HCl 0.1 N.
2. Depositar la muestra en un matraz Kjeldahl de 800 cm³.
3. Adicionar 5 g aproximadamente de mezcla catalizadora.
4. Adicionar 12.5 cm³ de ácido Sulfúrico concentrado.
5. Colocar el matraz con su contenido en la parrilla del digestor, calentar y poner a funcionar el extractor.
6. Cuando la solución adquiera la coloración transparente, suspender el calentamiento y dejar enfriar manteniendo encendido el extractor para eliminar los gases.
7. Adicionar lentamente y por las paredes del matraz 125 cm³ de agua destilada antes de que el residuo digerido se solidifique.
8. Por otro lado, colocar 32 cm³ de ácido bórico con dos gotas de solución indicadora en un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ y colocarlo bajo el refrigerante del destilador con un tubo colector ligeramente sumergido dentro de la solución de ácido bórico.
9. Inmediatamente después, adicionar lentamente por las paredes del matraz y manteniendo este inclinado, 50 cm³ de solución de hidróxido de sodio 28.6 % de tal manera que se formen dos capas.
10. Adicionar al contenido del matraz Kjeldahl aproximadamente 20 piedras de ebullición previamente tratadas con NaOH y conectar rápidamente el matraz

- Kjedahl al refrigerante del destilador, tapar perfectamente e iniciar el calentamiento.
11. Destilar aproximadamente unas dos terceras partes del contenido del matraz Kjeldahl o hasta que se hayan recolectado 125 cm³ en el matraz Erlenmeyer.
 12. Retirar el matraz Erlenmeyer antes de apagar el mechero para evitar sifoneo. Después enjuagar con una peseta el extremo del tubo colector recibiendo las aguas del lavado en el matraz Erlenmeyer.
 13. Titular el destilado con solución valorada de ácido clorhídrico 0.1 N o cercana a esta hasta la primera aparición de un color violeta tenue.

$$\% PC BS \text{ al } 100\% = \frac{\text{mL utilizados (N. A)}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

$$\% PC BH = \frac{\% PCBS \text{ al } 100\%}{100} \times MS$$



Figura 14. Destilación de muestras.



Figura 15. Muestras ya tituladas de la destilación.



Determinación de fibra detergente neutro

Materiales:

- vasos de precipitados de 100 mL sin vertedor.
- Crisoles de porcelana de 60 mL.
- Crisoles de vidrio con filtro de poro grueso secos a peso constante.
- Parrilla con termostato
- Agitadores con gendarme
- Cinta de teflón

Reactivos:

- Solución detergente neutro
- Agua destilada

Procedimiento:

1. pesar con diferencia alrededor de 0.2 gramos de muestra y depositarlos en el vaso de precipitado de 100 mL.
2. Adicionar 20 mL de solución detergente neutro.
3. Colocar un vaso el vaso con su contenido en la parrilla, colocar alrededor de la boca del vaso una tira de teflón y taparlo con el crisol.
4. Cuando la solución empieza a hervir, tomar el tiempo y reducir la temperatura para que la ebullición sea suave. Hervir el contenido por 60 min a partir de la ebullición.
5. Pesar un crisol de vidrio previamente seco y registrar el peso.
6. Filtrar con vacío a través del crisol de vidrio.

7. Lavar con agua caliente (90 a 100 °C) enjuagando previamente el vaso.
8. Quitar el vacío y adicionar la acetona desprendiendo la capa de fibra con el agitador. Dejar la acetona aproximadamente 1 minuto y aplicar nuevamente vacío.
9. Lavar el exterior del crisol con agua destilada (usar piseta)
10. Secar de 100 a 105 °C durante toda la noche.
11. Enfriar en el desecador y pesar.

$$\% \text{ Paredes celulares}_{\text{BH}} = \frac{\text{gramos de paredes celulares}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Contenido celular}_{\text{BH}} = \% \text{ materia seca} - \% \text{ paredes celulares}_{\text{BH}}$$



Figura 16. Muestras hirviendo con detergente neutro para ser filtradas.



Figura 17. Proceso de filtración después de la hervor durante 60 min.



Fibra detergente ácido y lignina

Materiales:

- Vaso de precipitados de 150 mL sin vertedor.
- Crisoles de porcelana de 60 mL.
- Crisoles de vidrio con filtro de poro grueso secos a peso constante.
- Equipo para filtrar con vacío.
- Parrilla con termostato.
- Gendarmes.
- Cinta de teflón.

Reactivos:

- Solución de detergente ácido.
- Solución indicadora de anaranjamiento de metileno.
- Acetona.

Procedimiento:

1. Pesar alrededor de 0.2 gramos de muestra y depositarla en un vaso de 150 mL
2. Colocar alrededor de la boca del vaso cinta de teflón.
3. Adicionar 20 mL de solución de detergente ácido y taparlo con el crisol de porcelana de 60 mL.
4. Colocar el vaso en la parrilla previamente calentada.



5. Al iniciar la ebullición, tomar el tiempo y disminuir el calor hervir el contenido del vaso por 60 minutos con ebullición suave (el detergente produce gran cantidad de espuma por lo que debe vigilarse, que no se derrame).
6. Secar un crisol de vidrio y registrar su peso.
7. Filtrar con vacío a través del crisol de vidrio que ya ha sido pesado.
8. Aflojar la capa de muestra con una barrilla y lavarla con agua caliente hasta que no de reacción con anaranjado de metileno.
9. Quitar el vacío y adicionar la acetona desprendiendo la capa de fibra con el agitador. Dejar la acetona aproximadamente 1 minuto y aplicar nuevamente vacío.
10. Secar de 100 a 105 °C durante toda la noche
11. Enfriar en el desecador y pesar.

$$\% \text{ FDA} = \frac{g \text{ de FDA}}{g \text{ de muestra}} \times 100$$

Con el reducido de la FDA se determina Lignina:

Materiales:

- Vasos de precipitado de 150 mL.
- Cisoles de vidrio de poro grueso.
- Agitadores de vidrio de 10 a 12 cm.
- Termómetro
- equipo de filtración para vacío
- bandeja de vidrio.



Reactivos:

- Solución de H₂SO₄ al 72 %

Procedimiento:

1. Colocar el crisol que contiene la fibra detergente ácido en el vaso de precipitados de 150 mL y este dentro de una bandeja con agua. La temperatura del baño debe ser de 20 % a 22 % °C.
2. Adicionar al crisol, suficiente H₂SO₄ al 72 % a modo de formar una pasta, desintegrando todos los grumos.
3. Adicionar más H₂SO₄ al 72 % a la mitad del crisol y agitar suavemente.
4. Agitar con la barrilla de vidrio a intervalos de 10 minutos.
5. Mantener constante el volumen de ácido sulfúrico.
6. Transcurrido 30 minutos exactos después de la primera adición de ácido sulfúrico, filtrar al vacío.
7. Lavar con agua caliente hasta eliminar todo el ácido.
8. Lavar con una piseta el exterior del crisol.
9. Secar en la estufa de 100 a 105 °C durante toda la noche.
10. Enfriar y pesar.

$$\% \text{ lignina} = \frac{\text{gramos de lignina}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$



Figura 18. Residuo de FDA sumergido en solución de H₂SO₄ al 72 %.



Figura 19. Proceso de filtración con agua caliente.

Determinación de sílice

Esta determinación se hace tomando el residuo de la lignina.

Incinerar el residuo de lignina a 550 °C enfriar y pesar

$$\% \text{ Silice} = \frac{\text{g de sílice}}{\text{g de muestra}} \times 100$$



Congreso:

LA RED VERACRUZANA DE MUJERES DEDICADAS A LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
otorga la presente

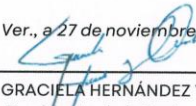
CONSTANCIA

a:

Mayra Sánchez Rodríguez

Por haber participado como Ponente(s) en el 1er Encuentro Estatal de la Red Veracruzana de Mujeres Dedicadas a la Ciencia, Tecnología e Innovación, con el trabajo:
Calidad Nutricional y Actividad Metanogénica de *Cenchrus purpureus* Cosechados a Diferentes Intervalos de Corte

Xalapa, Ver., a 27 de noviembre de 2024


DRA. MARÍA GRACIELA HERNÁNDEZ Y ORDUÑA
Presidenta de la Red

RED
VERACRUZANA
DE MUJERES
DEDICADAS A LA CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



MENTORAS EN LA CIENCIA
Veracruzanas transformando
el conocimiento



RED
VERACRUZANA
DE MUJERES
DEDICADAS A LA CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



Ingles:

TOEFL ITP Score Report

Name of Institution: TEC DE MONTERREY LAGUNA	Student Number: 626
Name: SANCHEZ, MAYRA	Times Taken TOEFL: 1
DOB: 27 Mar 2000	Sex: F
Test Date: 08 Mar 2025	Form: TOEFL ITP Level 1
Native Country: Mexico	
Native Language: SPA - Spanish	
Scaled Scores:	
Listening Comprehension:	57 B2
Structure & Written Expression:	57 B2
Reading Comprehension:	48 B1
Total Score:	540



The face of this document has a security background. The back contains a watermark. Hold at an angle to view.

The TOEFL ITP Assessment Series is designed to be used for placement, progress monitoring, and exit purposes. TOEFL ITP scores can also be used for admissions to programs and institutions where English is not the dominant language of instruction for content courses. Learn more at www.ets.org/toefl_itp/use.

156787-16573 • FB3324R150 • Printed in U

I.N. 770462

NS = No Score
** = No CEFR

Copyright © 2012 by Educational Testing Service

Student's File Cop
Do Not Cop



Estancia:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Chapingo, México.

DEPENDENCIA DE ZOOTECNIA
SECCIÓN NUTRICIÓN ANIMAL
NUMERO DEL OFICIO: SNA/061/24
EXPEDIENTE:

ASUNTO:

Aceptación de Estancia

14 de octubre de 2024

DR. OSCAR DEL ÁNGEL PIÑA
DIRECTOR GENERAL DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y SUPERIOR
DE TANTOYUCA
P R E S E N T E

Por este conducto se hace constar que la estudiante **MAYRA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**, del tercer semestre del programa de la maestría en **Producción Pecuaria Tropical** del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca ha sido aceptada para realizar su estancia en el laboratorio de **Nutrición Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo**, durante el periodo comprendido del **14 de Octubre de 2024 al 07 de Marzo de 2025**, lo anterior con el objetivo de realizar los análisis pertinentes de mezclas de forraje de corte con leguminosas, como parte del proyecto de investigación para obtener el grado de maestra en Producción Pecuaria Tropical.

La alumna **MAYRA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**, estará bajo la asesoría del Dr. José Isidro Alejos de la Fuente, Dr. Eliseo Sosa Montes y M.C. Benito Bello Olivera.

ATENTAMENTE

"Enseñar la Explotación de la Tierra,
No la del Hombre"

DR. ELISEO SOSA MONTES
PROFESOR INVESTIGADOR DEL ÁREA DE
NUTRICIÓN ANIMAL

M.C. BENITO BELLO OLIVERA
PROFESOR INVESTIGADOR
ÁREA DE NUTRICIÓN ANIMAL

DR. JOSÉ ISIDRO ALEJOS DE LA FUENTE
PROFESOR INVESTIGADOR
ÁREA DE NUTRICIÓN ANIMAL

AL CONTESTAR ESTE OFICIO CÍTESE
LOS NOMBRES DEL CENTRO
DEL ANGLIO SUPERIOR DERECHO

ESM*BBO*JIAF/ah.



Artículo de difusión:

REVISTA DIGITAL



ISSN 2448-8003

Características de la fibra de *Cenchrus pupureus* a 60, 90 y 120 días de rebrote

Fiber characteristics of *Cenchrus pupureus* at 60, 90 and 120 days of regrowth

Mayra Sánchez-Rodríguez¹, José Isidro Alejos de la Fuente², Armando Arrieta-González³,
Eliseo Sosa Montes⁴, Karla Lissette Silva Martínez⁵

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México, maysanchez0327@gmail.com, 0009-0008-6947-2504

²Universidad Autónoma Chapingo, México, jalejosd@chapingo.mx, 0000-0001-9894-3653

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México, armando.arrieta@itsta.edu.mx, 0000-0001-7810-6743

⁴Universidad Autónoma Chapingo, México, eliseososa@yahoo.com.mx, 0000-0003-2027-8168



Resumen

El objetivo del estudio fue analizar el contenido la materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN) de la materia seca y cenizas de dos accesiones de *C. purpureus* cosechadas a 60, 90 y 120 días de edad, para observar el comportamiento de los valores en las distintas edades de madurez de la planta. La investigación se desarrolló en la localidad de El Coyol Santa Clara, perteneciente a Tantoyuca, Veracruz. Para la siembra de las accesiones se establecieron 24 parcelas, cada una de 23 m² (4.8 m x 4.8 m), con 80 cm de separación entre surco y macollos. Las variables evaluadas fueron MS, Cenizas y FDN. Se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos se analizaron con ANDEVA de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los datos se analizaron con el software estadístico Statistica v.10. No se observaron diferencias significativas en la MS ni en FDN. Sin embargo, en el contenido de cenizas de CT-115 a los 120 días mostró diferencia estadística entre los tratamientos CT-115 a la edad de 60 días con un valor de 10.46% y el en pasto Roxo a los 60 días con un 10.27%. Estas diferencias se debieron posiblemente a condiciones de suelo y genéticos de las variedades. Es necesario evaluar parámetros climáticos, características de suelo sobre las variedades de *C. purpureus* para identificar el efecto sobre estas accesiones y sobre su efecto la producción animal.

Palabras clave: *Cenchrus pupureus*, suelo, pasto.



Abstract

The objective of the study was to analyze the dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) content of dry matter and ash of two accessions of *C. purpureus* harvested at 60, 90 and 120 days of age, in order to observe the behavior of the values at different ages of plant maturity. The research was carried out in the locality of El Coyol Santa Clara, belonging to Tantoyuca, Veracruz. For planting the accessions, 24 plots were established, each of 23 m² (4.8 m x 4.8 m), with 80 cm separation between furrow and tillers. The variables evaluated were DM, ash and NDF. A completely randomized design was used. The data obtained were analyzed with one-way ANDEVA and Tukey's mean comparison tests ($p < 0.05$). Data were analyzed with Statistica v.10 statistical software. No significant differences were observed in DM or NDF. However, the ash content of CT-115 at 120 days showed a statistical difference between the CT-115 treatments at the age of 60 days with a value of 10.46% and the Roxo pasture at 60 days with 10.27%. These differences were possibly due to soil and genetic conditions of the varieties. It is necessary to evaluate climatic parameters, soil characteristics on *C. purpureus* varieties to identify the effect on these accessions and their effect on animal production.

Keywords: *Cenchrus pupureus*, soil, grass.



Introducción

Los pastos forman la principal fuente de alimentación para rumiantes en pastoreo y además son la fuente más económica para su alimentación (Galoc et al., 2019). Solo un porcentaje muy bajo de productores utilizan prácticas de fertilización con productos inorgánicos y algunos de manera orgánica utilizando las heces para el desarrollo y conservación de las plantas (Arrieta-González et al., 2016). Sin embargo, los pastos tropicales tienen una capacidad fotosintética que beneficia su producción de materia seca en esas zonas (Hernández-Melchor et al., 2023). La edad de cosecha de los pastos en zonas tropicales afecta la calidad y digestibilidad durante todo el año. El incremento de la pared celular de los pastos se ve reflejado en altos o bajos niveles de digestibilidad. La digestibilidad de los pastos está relacionada con el consumo. Si la digestibilidad es baja



disminuye el paso del alimento a través del tracto digestivo provocando menor consumo de alimento (Valles de la Mora et al., 2016). La disponibilidad y calidad del forraje depende de las condiciones ecológicas de estas zonas (Cuevas-Reyes et al., 2022), afectando ó beneficiando la producción en la ganadería. Los pastos Roxo y CT-115 son utilizados en zonas tropicales, sin embargo, su calidad disminuye de manera considerable conforme la planta madura (Ramos-Juárez et al., 2021). A un así, cuando es cosechado a una edad donde la planta aún no está completamente madura se observa mejorías en los valores nutritivos (Pérez-Ramos et al., 2021). Para poder estimar el grado de digestión por parte de las bacterias del rumen, se realiza un análisis de laboratorio llamado fibra detergente neutro, donde se determina el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de los forrajes. El resultado se relaciona con la digestibilidad, pero este valor puede variar entre especies de forraje y su madurez (Hoffman et al., 2004). El desarrollo de gramíneas forrajeras se ve influenciado por el tipo de suelo y su fertilidad (León et al., 2018) y a factores climáticos como la temperatura (Sosa-Montes et al., 2021). Altas temperaturas y variaciones de radiación solar ocasionan bajos rendimientos de materia seca y calidad de los pastos (Reyes-Pérez et al., 2022). Otro de los análisis importantes de los pastos es el contenido de cenizas. Este análisis es un proceso que muestra el residuo inorgánico que queda al final de que toda la materia orgánica se ha quemado. De esta forma funciona como una guía del contenido de materia orgánica, por lo tanto, a mayor contenido de materia orgánica menor son los minerales (Álvarez et al., 2015). Esto ayuda a estimar la cantidad de minerales presentes en los alimentos (Chiñas y Guillén, 2023) indigeribles para el animal, el porcentaje de cenizas generalmente es alrededor de $\leq 10\%$. Valores superiores podrían sugerir una posible contaminación de la muestra evaluada con tierra (Jaurena et al., 2023). Sin embargo, la composición química varía entre especies y madurez de la planta (Grijalva et al., 1995). Estudios anteriores han reportado que el pasto Roxo a la cosecha de 65 días, tiene bajos rendimientos de fibra cruda sin embargo presenta mayor digestibilidad (Rupay et al., 2023)

Se ha identificado en investigaciones anteriores donde han analizado distintos pastos de zonas tropicales y han reportado su rendimiento productivo y valor nutricional, por lo tanto, las características de esas especies forrajeras dependen de las carac

terísticas propias de la región. En la Huasteca Veracruzana aun no existen suficiente información sobre el comportamiento y las características de los pastos de *Cenchrus purpureus*. Esta información podría enriquecer el conocimiento y mejorar las prácticas de manejo por parte de los productores. Por ello el objetivo de esta investigación fue determinar el contenido la materia seca, fibra detergente neutro y cenizas de dos accesiones de *C. purpureus* cosechado a 60, 90 y 120 días de edad.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la localidad de El Coyol Santa Clara, de Tantoyuca, Veracruz. Este municipio se encuentra entre los paralelos 21° 06' y 21° 40' de latitud norte; los meridianos 97° 59' y 98° 24' de longitud oeste; altitud entre 10 y 300 m (Figura 1) (Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave [SIEGVER], 2020). El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura anual es de 22 – 26°C. La precipitación anual fluctúa entre 1,100 y 1,300 mm. El municipio tiene la presencia predominante de un suelo Vertisol, pero también cuenta con suelo Phaeozem, Regosol, Cambisol y Leptosol estos menores porcentajes. (Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], (2010).



Figura 1. Áreas geográficas de Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave

Fuente: Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], (2025)

Las accesiones de *C. purpureus* utilizadas para la investigación son Roxo y CT- 115. Estas fueron consideradas como tratamiento, así como los días posteriores al corte de homogenización (60, 90 y 120 días). Cada uno de los tratamientos contó con 4 repeticiones. Para el establecimiento del cultivo de *C. purpureus* se preparó el área de siembra con arado y rastra sin ningún tipo de agroquímico u productos orgánicos para el control de malezas y

promotores de crecimiento de las plantas. Se utilizó un área de 552 m² para el establecimiento de 24 parcelas, cada una de ellas de una superficie de 23 m² (4.8 m x 4.8 m). La distribución de los tratamientos se realizó de manera aleatoria en 6 hileras con 80 cm de separación entre surco y macollos. La siembra de las accesiones evaluadas se realizó colocando dos tallos fitómeros con tres entrenudos por cada punto de siembra, introduciendo en la cama de siembra la distancia de dos entrenudos, colocando los tallos en un ángulo de 45° respecto del suelo (Figura 2). El 02 de Marzo del 2024 se realizó un corte de homogenización utilizando herramienta manual (machete). El día 01 de Mayo se realizó la cosecha de 60 días de edad, enseguida el 01 de Junio la muestra de 90 días y finalmente el 30 Junio la muestra de 120 días. El manejo del cultivo no incluyó la aplicación de ningún tipo de fertilizante orgánicos o químicos.



Figura 2. Siembra de *C. purpureum*, se puede apreciar la inclinación 45° a la que fueron sembradas las accesiones.

La muestra útil que se tomó de las accesiones fue seleccionada en un área de 2.0 m² del centro de la unidad experimental para evitar el efecto borde. El corte se realizó a 15 cm sobre el nivel de suelo. La submuestra obtenida se fragmentó y se colocó en bolsas de papel del número 12. Posteriormente se pesó en una báscula con una capacidad de legibilidad de 0.1 gramos. Enseguida las muestras fueron colocadas en una estufa de secado a 50 °C hasta llegar a peso constante con el fin de poder determinar materia seca, entre otros análisis. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar los análisis correspondientes de laboratorio. En donde el primer paso



fue moler la muestra en un molino eléctrico con una criba de 2 mm. Las variables analizadas fueron materia seca (MS) Fibra Detergente Neutro (FDN) Y Cenizas.

Determinación de Materia Seca

Para la determinación de MS se utilizó la técnica de De Pro (1979), la cual consiste en pesar una caja limpia y seca en la balanza analítica con la tapa colocada debajo de la caja, una vez registrado el peso de la caja adicionar un gramo de muestra. Con ayuda de unas pinzas, se mete la caja a la estufa a 105 °C hasta llegar a peso constante. Aproximadamente 8 horas transcurrido el tiempo se tapa la caja dentro la estufa, posteriormente se saca y se mete a desecador para permitir se enfríe por 45 minutos. Se pesa el residuo y con el peso obtenido se le resta el peso de la caja registrado al principio y al valor se le aplica la siguiente formula:

$$\% ms = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Determinación de cenizas

El análisis de cenizas se realizó con la finalidad de determinar el contenido de minerales. Su contenido es importante para la nutrición de los animales. En este caso se utilizó la técnica de De Pro (1979), donde menciona pesar un crisol de porcelana limpio y seco. Registrar su peso y enseguida adicionar un gramo de muestra, una vez pesada la muestra se preincinera en un mechero hasta que deje de aparecer humo con ayuda de unas pinzas colocar el crisol en la mufla a 550 °C por 2 horas. Pasado el tiempo solicitado se retira de la mufla y se deja enfriar al ambiente hasta que la temperatura sea aproximadamente de 80 °C – 100 °C. Enseguida se mete el crisol al desecador para que termine de enfriar. Finalmente se pesan los crisoles y se resta el peso del crisol solo y al resultado para aplicarle la siguiente formula:

$$\% \text{Cenizas}_{BH^*} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\% \text{Cenizas}_{BS^*} = \frac{\% \text{de cenizas BH}}{\% \text{de materia seca}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Determinación de Fibra Detergente Neutro de la Materia Seca

El análisis de FDN se realizó para conocer el contenido celular se utilizó la técnica De Pro (1979) donde menciona lo siguiente:



Pesar 0.25 g de muestra y depositarla en un vaso Berzelius de 100 cm³, enseguida adicionar 20 cm³ de solución de detergente neutro. Después tapar el vaso con un recipiente que resista el calor con agua corriente para simular un condensador, dejar hervir 60 min, este tiempo se cuenta a partir de que de inicio la ebullición, si el agua se calienta se tiene que cambiar de inmediato por agua fría. Transcurrido el tiempo filtrar con vacío abierto en un crisol de Gooch con filtro de fibra de vidrio limpio, seco, previamente pesado. Lavar con agua hirviente en porciones de 20 cm³ y con ayuda del gendarme desprender todas las partículas de FDN que se hayan quedado adheridas en las paredes del vaso, no dejar de lavar hasta que deje de salir espuma, finalmente lavar la parte exterior del crisol con ayuda de una piseta y colocarlo en una estufa de secado a 100 °C (toda una noche), transcurrido el tiempo se coloca el crisol en un desecador por 40 min y se pesa.

Para obtener el % de FDN se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Paredes celulares}_{BH} = \frac{\text{gramos de paredes celulares}}{\text{gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\% \text{ FDN}_{BS^*} = \frac{\% \text{ de FDN BH}}{\% \text{ de materia seca}} \times 100 \quad \text{Ec. (5)}$$

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones por cada tratamiento. Las accesiones de *C. purpureus* utilizadas en esta investigación fueron CT-115 y Roxo, cosechados 60, 90 y 120 días de edad. La investigación se llevó a cabo bajo el siguiente modelo lineal general:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta observada con el tratamiento i en la repetición j

μ : Efecto de la media general

t_i : Efecto del i -ésimo tratamiento i ; $i= 1,2,\dots,t$

ε_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la i -ésima unidad experimental (edad de corte)

Se utilizó un análisis estadístico de un ANDEVA de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) La normalidad se analizó con la prueba de Shapiro-Wilk y la



homocedasticidad con la prueba de Bartlett ($p < 0.05$). Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron analizados con un software estadístico Statistica v.10 (2013).

Resultados y discusión

Materia seca (MS)

La materia seca de los pastos indica la cantidad de nutrientes disponibles para ser aprovechados por los animales y se ven reflejados en la reproducción y producción de los rumiantes (Grijalva et al., 1995). Los valores obtenidos en esta investigación en referencia a las accesiones utilizadas demuestran que el valor más alto de MS fue por parte de Roxo a 120 días con un 92.21% y el valor más bajo fue para CT-115 a 90 días de edad con un 89.84% de MS, sin diferencia estadística ($p > 0.05$) (Tabla 1). Estos valores son más altos a los reportados por Arrieta-González et al. (2024). Ellos analizaron 7 variedades de *C. purpureus* entre ellas CT-115 y Roxo. En su investigación reportan 27.2 % de MS para CT-115 y en el caso de Roxo 32.7%. Sin embargo, en su investigación indican que la determinación de esta variable fue determinada de una muestra de forraje obtenida directamente de campo y analizada inmediatamente después de la cosecha; mientras que para los resultados aquí presentados las muestras de forraje se deshidrataron previamente.

El porcentaje de MS de Roxo a los 60 y 90 días presentado en esta investigación también fue superior a lo reportado por Vivas-Quila et al. (2019) quienes evaluaron 5 edades de corte. A 60 días obtuvieron 15.9% de MS y 15.1 % de MS a 90 días. Estos resultados son menores a los reportados en esta investigación a las mismas edades de corte. Según Muñoz-González et al. (2016) la producción de MS se ve afectada por la precipitación de las zonas y la fertilidad del suelo.

Dios-León et al. (2022) evaluaron el pasto CT-115 en distintas épocas del año a 5 edades de rebrote a las mismas edades utilizadas en esta investigación. A 60 días el valor más alto fue en época de seca con un 19.6 %. Por otro lado, ellos reportan 23.7 % de MS como el valor más alto en época de seca a los 90 días de rebrote. Los valores obtenidos por Dios-León et al. (2022) son inferiores a los encontrados en esta investigación. La variación en los resultados se puede atribuir a la presencia o escasez de precipitación o a la temperatura de la zona. Es importante mencionar que en esta investigación durante la cosecha hubo presencia de sequía, Dios-León et al. (2022) también mencionan que al existir estrés hídrico acelera la maduración de la planta reflejado en una mayor acumulación de materia seca. Los



porcentajes de MS reportados en esta investigación se encuentran alrededor del 90%. Este valor se considera alto comparado con otras investigaciones. Sin embargo, se debe recordar que las zonas tropicales se caracterizan por falta de precipitación que conducen a sequías intensas y duraderas. De tal forma que los valores aquí reportados deben ser analizados sin dejar de lado este aspecto. La variación en los resultados podría ser consecuencia de que en la mayoría de investigaciones utilizan las muestras frescas (recién cosechadas) para analizar esta variable, contrario a lo realizado en esta investigación donde las muestras fueron previamente deshidratadas.

Tabla 1. Contenido de materia seca, cenizas y fibra detergente neutro de los pastos Roxo y CT-115 cosechados a tres intervalos de corte.

Tratamiento	Materia seca (%)	Cenizas (%)	FDN (%)
Roxo 60	90.71 ^a	10.27 ^a	73.42 ^a
Roxo 90	90.47 ^a	9.11 ^{ab}	74.12 ^a
Roxo 120	92.21 ^a	9.02 ^{ab}	73.01 ^a
CT-115 60	90.83 ^a	10.46 ^a	73.31 ^a
CT-115 90	89.84 ^a	9.18 ^{ab}	73.30 ^a
CT-115 120	92.17 ^a	7.91 ^b	71.58 ^a
EE	0.27	0.38	0.87

Nota: Medias por columna con distinta literal indican diferencia estadística ($p > 0.05$).

Cenizas

Es importante determinar el contenido de cenizas ya con ese análisis permite conocer el contenido de la materia orgánica de un alimento y el contenido mineral del mismo (Pimentel, 2021). Los porcentajes de cenizas más altos se registraron en el en pasto CT-115 a la edad de 60 días con un valor de 10.46% y en el pasto Roxo a los 60 días con un 10.27%, entre estos tratamientos no hubo diferencia estadística significativa. Por otro lado, el valor más bajo fue de 7.91 % de CT-115 a 120 días de rebrote donde si hubo diferencia estadística entre los tratamientos mencionados anteriormente, Los valores de los tratamientos anteriores mencionados para esta variable son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) (Tabla 1). A la edad de 60 y 90 días el contenido de cenizas del pasto Roxo fue inferior al reportado por Vivas-Quila et al. (2019). Ellos analizaron el pasto *Pennisetum purpureus* en las mismas edades de corte y obtuvieron un 14.7 % para 60 días y 14.8% a los 90 días siendo estos





porcentajes más altos a los de esta investigación. Sin embargo, ellos realizaron la investigación en un clima templado y con un suelo con diferentes características a las de esta investigación. Según Jaurena et al. (2023) que el porcentaje de cenizas generalmente es alrededor de $\leq 10\%$. Si este valor es superior podría ser como consecuencia de que la muestra este contaminada con tierra o otros efectos relacionados con el suelo.

Medrano et al. (2024) reportaron que CT-115 a 60 días de rebrote acumuló 16.9 % de cenizas y a 90 días 11.20 %. Estos valores son superiores a los obtenidos en esta investigación 10.46% y 9.18 %. Sin embargo, se puede observar como el contenido de cenizas disminuye conforme aumenta la edad, siguiendo esta observación los autores concluyeron que el contenido de minerales disminuye con la madurez de la planta. Los porcentajes reportados en esta investigación coinciden con lo anterior. Sin embargo, Villalobos y Arce (2014) menciona que la presencia del agua en el suelo influye en la absorción de minerales del suelo que la planta realiza, y puede tener un efecto en el contenido de cenizas.

Fibra detergente neutro (FDN)

Es importante conocer la cantidad de fibra que existe en las paredes celulares de los pastos. Esta característica actúa como un indicador que estima la cantidad de forraje digerible para los rumiantes (Grijalva et al., 1995). El porcentaje más alto reportado en esta investigación fue del pasto Roxo cosechado a los 90 días (74.12% de FDN). Por otro lado, CT-115 acumuló el valor más bajo a 120 días de rebrote (71.58%) ($p > 0.05$) (Tabla 1). Sin embargo, ningún tratamiento presentó diferencia significativa entre los tratamientos.

La accesión Roxo cosechada a 60 días alcanzó un contenido de FDN de 73.42%, este valor es superior a lo encontrado por Vivas-Quila et al. (2019) quienes cosecharon a 60 días de rebrote una accesión de *Pennisetum purpureus* con un valor de FDN de 57.8% y 62% de 90 días posterior al corte de homogenización. La investigación se desarrolló en una zona de clima templado contrario a esta investigación donde las accesiones estuvieron expuestas a estrés hídrico y como consecuencia de las altas temperaturas de la zona tropical, repercutió el aumento de pared celular de las plantas.

Los porcentajes de FDN de CT-115 presentados en esta investigación son menores a los reportados por Dios-Leon et al. (2022) a la edad 60 días. Estos autores mencionan un 77.0% de FDN a 60 días de rebrote, mientras que a 90 días el valor más alto que ellos reportaron fue 80.6%, el cual es superior al obtenido en este estudio.



Los forrajes que tienen un contenido de FDN $< 40\%$ son considerados de buena calidad. Sin embargo, valores de FDN $> 60\%$ pueden afectar la digestión y el consumo de alimento (Van Soest, 1982). Los altos contenidos de FDN pueden afectar negativamente los parámetros productivos de los animales que consumen estos forrajes (Villalobos y Arce, 2014). Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación, aunque algunos fueron menores a los reportados por otros autores, se consideran relativamente altos y por ello afectan y comprometen la calidad su calidad. Los niveles reportados de FDN probablemente son consecuencia de factores como las condiciones climáticas (Morán, 1996) y la madurez de la planta (Herrera-Torres et al., 2010).

Conclusiones

Los porcentajes de FDN fueron altos en cada uno de los tratamientos, lo que podría indicar una afectación negativa sobre el consumo de MS y en consecuencia sobre la producción. Sería conveniente analizar los valores de FDN a edades menores de 60 días donde posiblemente la calidad de la fibra sea mejor. Los valores elevados de FDN son consecuencia de la edad y la madurez de los forrajes evaluados.

El contenido de cenizas en los 6 tratamientos indica valores apropiados. Sin embargo, las cenizas también están asociadas con la madurez de la planta.

Agradecimientos

A el laboratorio de zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo por apoyo de instalaciones, equipo y reactivos de laboratorio.



Referencias bibliográficas

- Álvarez, A. E. B., Hidrovo, C. A. M., Moreno, E. O. T., Cevallos, J. H. A., Ferrín, L. M. C., y Galeas, M. M. P. (2015). Composición química y degradación de cuatro especies de *Pennisetum sp.* *Ciencia y Tecnología*, 8(2), 13-27. <https://doi.org/10.18779/cyt.v8i2.151>
- Arrieta-González, A., Silva-Martínez, K. L., Vite-Cristóbal, C., Rodríguez-Andrade, A., Hernández-Beltrán, A., & Domínguez-Mancera, B. (2024). Agronomic traits of seven accessions of *Cenchrus purpureus* under rainfed conditions in the tropical region of Veracruz, Mexico. *Grass Research*, 4(1). <https://doi.org/10.48130/grares-0024-0022>
- Arrieta-González, A., Ortega-Vargas, E., y Hernandez-Martinez, I. (2016). Caracterización del Sistema de Producción Bovina en el Municipio de Platón Sánchez, Veracruz, México. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social RIISD*,(2).
- Cuevas-Reyes, V., Loaiza-Meza, A., Reyes-Jiménez, J. E., Gutiérrez-Gutiérrez, O. G., y Sánchez-Toledano, B. I. (2022). Problemática de ganadería y producción de forraje en el sur de Sinaloa bajo un contexto de cambio climático. *Memoria de XXXIV Semana Internacional de Agronomía*, 1161-1166.
- Chiñas, F. A. I., y Guillén, B. J. S. (2023). *Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas*. UNAM, Facultad de Química.
- Dios-León, G. E. D., Ramos-Juárez, J. A., Izquierdo-Reyes, F., Joaquín-Torres, B. M., y Meléndez-Nava, F. (2022). Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureus* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(4), 1055-1066. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217>
- De Pro, S.E. (1979). *Manual de Procedimientos Analíticos para Alimentos de Consumo Animal*. Chapingo Mexico.
- Grijalva, J., Espinosa, F., y Hidalgo, M. (1995). *Producción y utilización de pastizales en la región interandina del Ecuador*. INIAP Archivo Histórico.



- Galoc, N., Pérez, H. V. V., y Bernal, W. (2019). Caracterización nutricional de trece variedades de pastos naturalizados de la región Amazonas. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 29-38. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.601>
- Hoffman, P., Combs, D., Contreras-Govea, F. E., y Neutro, D. (2004). *Uso de la digestibilidad del FDN en la formulación de raciones. Focus Forage*.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Rios-Rincón, F. G., Reyes-Estrada, O., y Bernal-Barragán, H. (2010). Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*, 35(4), 284-289.
- Hernández-Melchor, G. I., Hernández-Hernández, M., Sol-Sánchez, A., Rosales-Martínez, F., Hernández-Salinas, G., y Toruño, P. J. (2023). Importancia forrajera y nutricional de *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 9(17), 2140-2152. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i17.16400>
- Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (2025, 01 de Febrero). INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=30155>
- Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). *Compendio de información geográfica municipal Tantoyuca Veracruz de Ignacio de la Llave*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30155.pdf
- Jaurena, G., Pepi, M. G. F., y Wawrzkievicz, M. (2023). Herramientas para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Agronomía & Ambiente*, 43(1).
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas*. Universitaria Abya-Yala. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- Medrano Escobar, A., Martínez Banegas, CC, Martínez Aguilar, Y., Verdecia Acosta, DM, y Herrera, RS (2024). Calidad nutritiva de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone cv. Cuba CT-115 en condiciones edafoclimáticas de Zamorano, Honduras. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 58. <https://cu-id.com/1996/v58e03>



- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., y Rosa Arana, J. L. D. L. (2016). Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (SPE16), 3329-3341.
- Morán, J. (1996). Consumo y valor nutritivo de los pastos. *Pasturas Tropicales, Memorias del curso. CORPOICA, Medellín*, 87-96.
- Pimentel Gonzalez, T. A. (2021). *Utilización de abono orgánico en la producción y calidad nutritiva del pasto Brachiaria híbrido cv. BRS RB331 IPYFORA* (Doctoral dissertation, Universidad de Panamá). <http://up-rid.up.ac.pa/id/eprint/6589>
- Pérez-Ramos, P., Villegas-Aparicio, Y., Castro-Rivera, R., Castañeda-Hidalgo, E., Gómez-Vázquez, A., y Carrillo-Rodríguez, J. C. (2021). Crecimiento de ecotipos de *Cenchrus purpureus* (Schumach) Morrone en condiciones de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4-A), 765-765. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4-A.765>
- Reyes-Pérez, J. J., Méndez-Martínez, Y., Espinosa-Cunhahay, K. A., Bastidas-Espinoza, R. L., Apolo-Bosquez, J. A., Ramírez de la-Ribera, J. L., y Ruiz-Espinoza, F. H. (2022). Composición química, digestibilidad y rendimiento de *Brachiaria decumbens* a diferentes edades de rebrote. *Biocencia*, 24(2), 84-93. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v24i2.1606>
- Ramos-Juárez, J. A., Martínez-Urbina, E., Izquierdo-Reyes, F., Aranda-Ibañez, E. M., Vargas-Villamil, L. M., Hernández-Sánchez, D., y Joaquín-Torres, B. M. (2021). Efecto de Suplementos Fermentados con Pollinaza sobre el consumo y degradación del pasto Cuba CT-115. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4-A), 773-773. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4-A.773>
- Rupay, K., Ampuero, G., Vela, C., Angulo, C., Mathios, M., y Torres, R. (2023). Evaluación agronómica y nutricional de pastos tropicales de corte sometidos a diferentes frecuencias de corte en Yurimaguas, Amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(5). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v34i5.24461>
- Sosa-Montes E, Mendoza-Pedroza SI, RamosVelázquez A, Álvarez-Vázquez P, Ortega-Jiménez E, SánchezHernández MA (2021) Composición nutricional de tres pastos colectados en el estado de Morelos, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* Núm. Esp. II: e2968. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2968>



- Sistema de Información Estadística y Geográfica del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER). 2020. *Cuadernillos municipales 2020*. [pdf] Veracruz: Gobierno del Estado. <https://bit.ly/348PdyJ>
- Valles de la Mora, B., Castillo Gallegos, E., y Bernal Barragán, H. (2016). Rendimiento y degradabilidad ruminal de materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), 141-158.
- Van Soest, P. J. (1982). *Nutritional Ecology of Ruminant*. O and B. Corvalis, OR, EEUU. 375 pp.
- Vivas-Quila, N. J., Criollo-Dorado, M. Z., y Cedeño-Gómez, M. C. (2019). Frecuencia de corte de pasto elefante morado *Pennisetum purpureum* Schumacher. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 45-55. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1203>
- Villalobos, L., y Arce, J. (2014). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon dactylon*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 133-145.