
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

Subdirección de Posgrado e Investigación

Maestría en Producción Pecuaria Tropical

TESIS

Efecto de metabolitos secundarios sobre la actividad

metanogénica de *Cenchrus purpureus*

PRESENTA

JHONATAN HERNÁNDEZ SAGAON

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO ARRIETA GONZÁLEZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. ELISEO SOSA MONTES

TANTOYUCA, VERACRUZ.

Agosto 2025

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres, porque ellos siempre creen en mí y me impulsan a seguir adelante a pesar de todas las adversidades, los quiero y los amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi mamá y a mi papá, porque ellos siempre están ahí a pesar de todas las adversidades y si algo está por caerse ellos son mi apoyo para empezar a reconstruirlo. Gracias por creer en mí.

A mi compañera Mayra Sánchez Rodríguez, gracias por el apoyo incondicional durante el proceso de formación académica, por motivarme en tiempos difíciles, así como también por apoyarme en cada propósito de mi vida, gracias por creer en mí.

Dr. Armando Arrieta González, gracias por la confianza y la paciencia para poder llevar a cabo este proyecto, y me da gusto que la vida me haya dado la oportunidad de coincidir en este gran camino, la sabiduría y las reflexiones hacen de usted una gran persona.

Dra. Erika Andrea Hernández, gracias por las muestras de entusiasmo y por la amabilidad para poder guiarme durante el proceso de investigación, así mismo por la amistad que se ha creado.

Dr. Eliseo Sosa Montes, agradezco por el apoyo que nos brindó en el laboratorio y redacción e interpretación de los datos de investigación. La sabiduría sobre la ciencia lo hace un buen científico.

Dr. José Isidro Alejos de la Fuente, agradezco por la minuciosa paciencia y las muestras de humildad, por los consejos de la vida e impulsos para seguir superándome, por la gran amistad que creamos.

Técnico. Emilio David López Calva, gracias por apoyarnos durante los análisis de laboratorio, usted siempre estuvo guiándonos en cada procedimiento.

Gracias a la Universidad Autónoma Chapingo por aceptar y permitir realizar los análisis de investigación.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de dos leguminosas a cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus* sobre la actividad metanogénica. La investigación se realizó en la comunidad El Coyol Santa Clara, perteneciente al municipio de Tantoyuca, Veracruz, México. Se utilizaron *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* mezclados con pasto Taiwán, Roxo, Maralfalfa y CT-115 como tratamientos, a las leguminosas se les realizó un análisis de laboratorio para conocer la cantidad de taninos condensados, las mezclas de los pastos con leguminosa se realizaron de forma directa en los tubos de digestibilidad *in vitro* donde el total de la mezcla fue de 0.5 gramos (0.4 gramos de pasto y 0.1 gramos de leguminosa), en la adición de las leguminosa del 20 % el contenido de taninos condensados era de 0.01 g para *Gliricidia* y de 0.02 g para *Leucaena*. Se analizó digestibilidad *in vitro*, fibra detergente neutra (FDN), Fibra detergente acida (FDA), Lignina, Sílice, Cenizas, Proteína cruda (PC), Dióxido de carbono (CO₂) y Metano (CH₄). Se usó un diseño completamente al azar para analizar el efecto de los tratamientos. Los datos se analizaron con ANDEVA de una vía usando el software Statistica v.10. Se realizaron las pruebas de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad con la prueba de Bartlett ($p < 0.05$). En la variable digestibilidad hubo diferencia estadística significativa entre las accesiones, Maralfalfa y CT-115 tuvieron los valores más altos de digestibilidad, mientras que las mezclas de leguminosas con pastos, *Leucaena* presentó la mejor digestibilidad comparado con el control. Respecto a la FDN, se observó diferencia estadística. Taiwán tuvo el valor más alto y Roxo el menor para esta variable. Las mezclas de pastos presentaron menor contenido de FDN en *Leucaena* y *Gliricidia*, resaltando el valor más alto de FDN para el control. Se concluye que al mezclar leguminosas con *Cenchrus purpureus* aumenta la digestibilidad y disminuyen los valores de FDN.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the addition of two legumes to four accessions of *Cenchrus purpureus* on methanogenic activity. The research was carried out in the community of El Coyol Santa Clara, in the municipality of Tantoyuca, Veracruz, Mexico. *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* mixed with Taiwan, Roxo, Maralfalfa and CT-115 grasses were used as treatments. The legumes were subjected to laboratory analysis to determine the amount of condensed tannins. 5 grams (0.4 grams of grass and 0.1 grams of legume), in the addition of 20% of legumes the content of condensed tannins was 0.01 g for *Gliricidia* and 0.02 g for *Leucaena*. In vitro digestibility, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, silica, ash, crude protein (CP), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) were analyzed. A completely randomized design was used to analyze the effect of treatments. Data were analyzed with one-way ANDEVA using Statistica v.10 software. Normality tests were performed with the Shapiro-Wilk test and homoscedasticity with Bartlett's test ($p < 0.05$). In the digestibility variable, there was a significant statistical difference between the accessions, Maralfalfa and CT-115 had the highest digestibility values, while the legume mixtures with grasses, *Leucaena* presented the best digestibility compared to the control. Regarding NDF, statistical differences were observed. Taiwan had the highest value and Roxo the lowest for this variable. The grass mixtures presented lower NDF content in *Leucaena* and *Gliricidia*, highlighting the higher NDF value for the control. It is concluded that mixing legumes with *Cenchrus purpureus* increases digestibility and decreases NDF values.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. Introducción	9
2. Objetivos	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos.....	3
3. Hipótesis	4
4. Marco teórico	5
4.1 Antecedentes.....	5
4.1.1 Metanogénesis ruminal.....	8
4.1.2 Gases de efecto invernadero (GEI).....	8
4.1.3 Metano (CH ₄).....	8
4.1.4 Dióxido de carbono (CO ₂).....	9
4.1.5 Óxido Nitroso (N ₂ O).....	10
4.1.6 Reducción de metanógenos con Metabolitos secundarios.....	10
4.1.7 Taninos.....	11
4.1.8 Taninos Hidrosolubles (TH).....	11
4.1.9 Taninos Condensados (TC).....	12
4.1.10 Saponinas.....	12
4.1.11 Flavonoides.....	13
4.1.12 Fisiología ruminal.....	14
4.1.13 Rumen.....	15
4.1.14 Hongos.....	15
4.1.15 Protozoarios.....	15
4.1.16 Bacterias.....	16
4.1.17 Arqueas.....	16
4.2 Estado del arte.....	17
5. Metodología	19
5.1 Área y periodo de estudio.....	19
5.2 Descripción de los tratamientos.....	20
5.3 Variables de estudio.....	21

5.3.1 Digestibilidad <i>in vitro</i>	21
5.3.2 Dióxido de carbono (CO ₂).....	23
5.3.3 Producción de metano (CH ₄).....	23
5.3.4 Fibra Detergente Neutra (FDN).....	24
5.3.5 Fibra detergente Acida (FDA), Lignina y Sílice	24
5.3.6 Cenizas	26
5.3.7 Proteína Cruda (PC)	26
5.4 Descripción y manejo del objeto de estudio	28
5.5 Establecimiento en campo	29
5.6 Diseño experimental y análisis estadístico	29
6. Resultados y discusión	31
6.1 Resultados y discusión por accesión	31
6.2 Composición de la pared Celular: FDN, FDA y Lignina de las mezclas de <i>Cenchrus purpureus</i> y leguminosas.....	39
6.3 Producción de Dióxido de carbono (mL g ⁻¹ MS) y metano (mL g ⁻¹ MS) de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	44
6.4 Producción de dióxido de carbono (mL g ⁻¹ MS) y metano (mL g ⁻¹ MS) de las mezclas de accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i> con leguminosas.....	46
7. Conclusiones	48
8. Recomendaciones	49
9. Literatura citada	50
10. Anexos	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1	Estructura del metano unida por dos puntos	9
2	Estructura molecular del dióxido de carbono	9
3	Estructura de tanino hidrolizable de árbol de roble	11
4	Estructura de tanino condensado de <i>Sorghum procyanidin</i>	12
5	Estructura de saponina esteroide	13
6	Estructura de saponina tripernoide	13
7	Estructura general de los flavonoides	13
8	Ubicación geográfica del municipio de Tantoyuca Veracruz, México	19
9	Distribución de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	28
10	Representación gráfica de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i>	33
11	Porcentaje de digestibilidad de los pastos	36
12	Porcentaje de fibra detergente neutra de las mezclas de <i>Cenchrus purpureus</i> con leguminosas	40
13	Porcentaje de digestibilidad de las mezclas de <i>Cenchrus purpureus</i> con <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Leucaena leucocephala</i>	42

ÍNDICE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1	Representación de los tratamientos. Se realizaron mezclas 80 % pasto y 20 % de leguminosa y un control donde solo fue pasto	20
2	Representación del contenido en base seca expresados en porcentaje de taninos condensados y proteína cruda (PC) de los análisis solicitados al laboratorio de nutrición animal de la Universidad Autónoma de Yucatán	21
3	Materiales y reactivos para determinar digestibilidad <i>in vitro</i>	21
4	Porcentaje de Fibra detergente neutra (FDN), Fibra detergente ácida (FDA), Digestibilidad, Proteína (PC), Lignina (Lig), Cenizas y Sílice de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i> a la edad 130 días	31
5	Fibra detergente neutra (FDN), Fibra detergente ácida (FDA), Digestibilidad, Proteína (PC), Lignina (Lig), Cenizas y Sílice de las mezclas de <i>Cenchrus purpureus</i> con leguminosas a la edad 130 días, en una proporción 80% pasto y 20 % leguminosa	39
6	Representación del total de gases de CO ₂ (mL g ⁻¹ MS) y metano (mL g ⁻¹ MS) de metano (CH ₄) de las accesiones de <i>Cenchrus purpureus</i> a la edad de 130 días	44
7	Representación del total de gases de CO ₂ mL g ⁻¹ MS y mL g ⁻¹ MS de metano (CH ₄) de las mezclas de los pastos de <i>Cenchrus purpureus</i> a los 130 días de edad, en una proporción 80 % pasto y 20 % leguminosa	46

1. Introducción

El calentamiento global trae como consecuencia el incremento de la temperatura aumentando las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), donde los principales GEI son el óxido nitroso (N_2O), dióxido carbono (CO_2) y metano (CH_4), manifestando un desequilibrio ambiental. Esto afecta al sector de la ganadería, reduciendo su eficiencia productiva, así mismo la alimentación del ganado se basa en el suministro de gramíneas y leguminosas. Por otro lado, la acumulación de CO_2 en la atmósfera incrementa la temperatura afectando de forma indirecta en la calidad de los forrajes, aumentando la concentración de lignina en los tejidos vegetales. Como consecuencia disminuye la digestibilidad, obteniendo como resultado el CH_4 derivado de los valores nutritivos del forraje (Cheng et al., 2022). Es así como la ganadería contribuye al cambio climático, a través de la fermentación entérica. En el rumen existe una comunidad de microorganismos como hongos, bacterias protozoos y arqueas donde su función es degradar el alimento que llega al rumen. La fermentación entérica produce CH_4 y CO_2 , estos gases los exhala y en su caso los expulsa mediante eructos, acumulándose en la atmósfera. Un alimento con baja calidad nutricional y un aumento en el consumo de alimento producen mayores cantidades de GEI. Esto depende del manejo, propósito productivo del animal y sus condiciones físicas. Una de las estrategias para mitigar los GEI en la ganadería consiste en la modificación de la dieta para mejorar la fermentación del alimento, al manipular una dieta influye en la producción de CH_4 en el rumen, obteniendo como resultado la disminución de GEI (Byeng-Ryel et al., 2022). Los taninos condensados (TC), Saponinas (SP) y flavonoides, son metabolitos secundarios que se encuentran en una gran variedad de arbustos, arboles, leguminosas y no leguminosas. Las propiedades que poseen son utilizadas como protección ante depredadores. Los metabolitos secundarios eran considerados como tóxicos en la alimentación animal, con el paso de los años diversos estudios han demostrado interés científico en la nutrición animal. Se ha confirmado que los metabolitos secundarios en cierto porcentaje, actúan de forma directa e indirecta en el rumen. Estos influyen de forma biológica durante el proceso de fermentación ruminal, interactuando con los microorganismos que hay en el rumen, dando como resultado una disminución de la

actividad metanogénica, reduciendo las emisiones de CH_4 en los rumiantes (Ku-Vera et al., 2020).

2. Objetivos

2.1 General

- Evaluar la adición de metabolitos secundarios en forrajes *Cenchrus purpureus* para determinar el impacto sobre la reducción de metano y dióxido de carbono.

2.2 Específicos

- Evaluar las características nutricionales de forrajes de corte y sus mezclas con leguminosas locales para determinar su efecto sobre la calidad de estos.
- Evaluar la digestibilidad de cuatro accesiones de *Cenchrus purpureus* mezcladas con *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*.
- Determinar si la adición de leguminosas al forraje de *Cenchrus purpureus* reduce la producción de metano y bióxido de carbono *in vitro*.

3. Hipótesis

La adición de metabolitos secundarios en mezclas de forrajes de *Cenchrus purpureus* reduce favorablemente la producción de dióxido de carbono y metano.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes

López-Garrido et al. (2021) realizaron una evaluación de la composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), producción de CH₄ y CO₂ en ensilado de King grass CT-115 adicionados con diferentes inclusiones de *Clitoria ternatea*, ellos comentaron que la adición de 30-40 % de *Clitoria ternatea* aumentaron la cantidad de materia seca (33.34 %), proteína cruda (10.12 %), bajando el contenido de fibra detergente neutra (59.26 %), fibra detergente ácida (42.18 %). Además, agregando el 40 % de *C.ternatea* en el ensilado disminuyó el 27 % de CH₄ y CO₂ en la fermentación *in vitro*. Ellos argumentaron que la *C.ternatea* es una alternativa para enriquecer la calidad del ensilaje y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la fermentación ruminal *in vitro*.

Araiza-Ponce et al. (2020) evaluaron la adición de *Leucaena leucocephala* y *Opuntia ficus indica* como reemplazo de heno de alfalfa para reducir la emisión de metano observando que con la adición del 30 % de esta mezcla se disminuyó entre un 14 – 26 % de CH₄ *in vitro*, ellos concluyeron que el contenido de la calidad nutritiva así como sus características de fermentación, pueden incluirse en la alimentación de bovinos, además de contrarrestar los GEI.

Rivas-Martínez et al. (2023) evaluaron la producción *in vitro* de metano, dióxido de carbono en gramíneas templadas y tropicales, las muestras de pasto templado evaluadas fueron *Lolium perenne*, *Festuca spp*, *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo), *Dactylis glomerata* (Ovillo), *Lolium multiflorum*, y se recolectaron muestras de pastos tropicales *Brachiaria brizantha* (Insurgente), *Cynodon nlemfuensis* (Estrella), *Panicum máximum* (Guinea) cv. *Tanzania*, *Pennisetum purpureum* (Elefante), *Andropogon gayanus* (Llanero) y *Cynodon dactylon* (Bermuda), como resultados las gramíneas templadas *L. multiflorum*, *D. glomerata* y *L. perenne* produjeron menores cantidades de CH₄ (23.09, 23.28 y 24.00 mL g⁻¹ MS) y la mayor cantidad de metano fue para la gramínea tropical *P. purpureum* con 82.90 mL g⁻¹ MS, sin embargo en las gramíneas tropicales que fueron evaluadas aumentaron la producción de biogás (182.61 mL g⁻¹ MS) y las gramíneas templadas presentaron la menor concentración de biogás (89.84 mL g⁻¹ MS).

Granados-Niño et al. (2021) realizaron un estudio para identificar la altura de corte de *Sorghum bicolor* L, sin disminuir el rendimiento de materia seca y mejorando la calidad del ensilaje, ellos evaluaron el efecto de la altura de corte a los 10, 20, 30, 40, 50, y 60 cm, el forraje fue cosechado a los 105 días después de la siembra, seleccionando 15 plantas aleatoriamente y se molieron reduciéndolas a partículas de 2 cm. Elaboraron micro silos y se dejaron durante 90 días a temperatura ambiente, ellos observaron que el contenido de lignina disminuyó de 8.1 a 6.4% cuando la altura de corte se incrementó de 10–30 cm no mostrando cambios significativos después de los 30 cm, ellos concluyeron que al cortar el forraje de *Sorghum* a una altura de 20-40 cm, el contenido de lignina es bajo (7.7 y 6.9 %) existiendo mayor digestibilidad de la fibra en un 0.8 % del ensilaje.

Araiza-Rosales et al. (2022) realizaron una investigación en el Norte México en abril de 2019, evaluaron la composición química, el contenido de compuestos fenólicos, producción de metano y cinética de gas en muestras de *Quercus grisea* L. (encino gris), *Quercus eduardi* Trel. (encino rojo), *Argemone mexicana* L. (chicalote), *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (mezquite), *Acacia tortuosa* Standl. (huizache), *Morus alba* L. (morera) y *Stevia rebaudiana* Bertoni. (estevia). Ellos observaron una mayor producción de CH₄ en Chicalote acumulando 7.1 mL g⁻¹ MS de todas las especies evaluadas, donde la menor producción de metano fue para Mezquite, Encino Rojo y Morera con 0.8, 1.4 y 1.9 mL g⁻¹ MS, además ellos argumentan que en la relación CO₂ : CH₄, mientras más CO₂ se produzca menor será la producción de CH₄. Por último, ellos recomiendan usar Chicalote, Morera y Stevia ya que estos presentaron la mejor calidad nutricional por los altos contenidos de proteína con 12.7, 15.0 y 8.0 % y la digestibilidad de 82.1, 78.0 y 73.2 %.

Sandoval-Pelcastre et al. (2020) menciona que al utilizar leguminosas y adicionarlas con gramíneas mejora la digestibilidad del alimento, esto como resultado de la presencia de metabolitos secundarios y su interacción con los microorganismos del rumen, ellos explican que al adicionar el 25 % de *Leucaena leucocephala* en gramíneas tropicales mejora la digestibilidad en un 18%.

Díaz-Echeverría et al. (2023) en un estudio determinaron la fermentación y la digestibilidad *in vitro* de dietas para ovinos, se tomaron muestras de *Panicum maximum* (45 días de rebrote), adicionándole especie arbóreas de *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleífera*, *Tithonia diversifolia*, *Guazuma ulmifolia* y *Hibiscus rosa-sinensis* con 45 días de rebrote con harina de yuca que se cosecho a los 8 meses. Se extrajo líquido ruminal de 3 ovinos (Pelibuey x Black Belly). El menor contenido de materia seca fue para *T.diversifolia* con 18.19% y el mayor contenido fue en *G. ulmifolia* con 38.92%. Las mayores concentraciones de proteína cruda fue en *H.rosa-sinensis* con 14.66 %, *L. leucocephala* 25.73 %, *T. diversifolia* 24.70 % y *M. oleífera* 22.22 %. La mayor digestibilidad de la materia fue en *H. rosa-sinensis* (73.76 %), *M. oleífera* (68.50 %), *L. leucocephala* (67.25 %) y *T. diversifolia* (66.33 %), sin embargo la menor digestibilidad fue para *G. ulmifolia* con 62.33 %. Ellos concluyeron que la utilización de especies arbóreas mezcladas con harina de yuca y *P.maximum* incrementa las características nutricionales de las dietas aumentando la digestibilidad de la materia seca.

4.1.1 Metanogénesis ruminal

Durante la digestión de los rumiantes se desarrolla un proceso denominado metanogénesis. Este es fundamental para el metabolismo ruminal de tal forma que no se puede eliminar. Sin embargo, es posible minimizar sus efectos a través de la modificación de la dieta o mejorando la digestibilidad de la fibra. La metanogénesis microbiana es un proceso que tiene consecuencias en el metabolismo de los rumiantes y productividad comercial (Sandí et al., 2020). La estructura de la dieta para el consumo de los rumiantes es un factor importante en la fermentación ruminal y en la emisión de gases ocasionando daños en el medio ambiente (Rodríguez et al., 2022).

4.1.2 Gases de efecto invernadero (GEI)

Los problemas del cambio climático surgen por las diversas actividades del ser humano. Estas prácticas liberan ciertos GEI que se alojan en la atmósfera, tales como el CO₂, el CH₄ y el óxido nitroso N₂O (Peña-Avelino et al., 2024). Estos son los principales gases de efecto invernadero en nuestro país. Del total de las emisiones de GEI el CO₂ produce el 62 %, el CH₄ el 30% y el N₂O el 7 %, entre otros gases. Del total de las emisiones de GEI producidos en México, la generación de energía y transporte contribuye el 64 %, la agricultura 19 %, procesos industriales 10 % y residuos 7 %. Los GEI se producen de acuerdo a su área, para el sector agropecuario la emisión de gases está relacionada con las prácticas ganaderas con el 56 % debido a la fermentación entérica del proceso digestivo que realiza el ganado bovino, un 20 % se produce por el excremento de los animales, un 17% de N₂O por utilización del suelo al momento de aplicar fertilizantes y tierras convertidas a cultivos y 4 %, en otras actividades (Gómez y Villicaña-Villa. 2024).

4.1.3 Metano (CH₄)

La estructura del metano es un átomo de carbono central, que se une mediante cuatro enlaces simples a los cuatro átomos de hidrógeno formando cuatro pares. La forma de representar la estructura del metano es mediante enlaces simples representado por dos puntos, en donde hace referencia a los dos electrones (Figura.1) (Briand y Vetere, 2022).

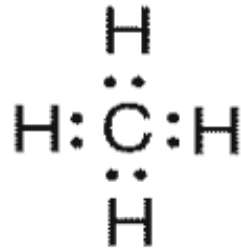


Figura 1. Estructura del metano unida por dos puntos. Fuente. Briand y Vetere (2022).

El metano es uno de los principales GEI que se produce en los sistemas de producción bovina. Se origina por la fermentación entérica y es expulsado mediante el eructo (Gómez Rosales et al., 2020). En la ganadería la producción de metano se lleva a cabo de dos formas: la primera representa el 67.2 % de la fermentación digestiva y la segunda forma el 32.8 % que se origina en la fermentación del estiércol (Carro et al., 2018). El metano es producto de la fermentación de los carbohidratos de la dieta que consume el animal. Las arqueas presentes en el rumen, incorporan el CO_2 y H_4 formando el CH_4 (Vázquez-Carrillo et al., 2020).

4.1.4 Dióxido de carbono (CO_2)

La estructura molecular del CO_2 , incluye la unión de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno (Medina-Valtierra, 2010) (Figura. 2). El CO_2 es un gas inodoro e incoloro (Arroyo y Ramírez-Monroy, 2020).



Figura 2. Estructura molecular del dióxido de carbono. Fuente. Medina-Valtierra, J. (2010).

Este gas se puede controlar por distintos sistemas estabilizadores del ciclo del carbono:

1. Termostato: impide la fuga total de la radiación, que afecta la tierra, estabilizando de esta forma la temperatura.
2. Homeostato de oxígeno atmosférico: este regula su concentración por medio de la fotosíntesis y de la degradación de materia orgánica.
3. Nivel de pH de los océanos: la formación de ácido carbónico se neutraliza por el carbonato de calcio presente en el medio.

4. La excesiva emisión del CO₂ provoca que estos tres sistemas se desestabilicen provocando el calentamiento global (Arroyo y Ramírez-Monroy. 2020).

En la ganadería el origen del CO₂ es por el uso de la maquinaria agrícola y cambios en el uso de la tierra (Villa-Nueva et al., 2023). También el CO₂ se puede producir por medio del suelo. La presencia de carbono en el suelo es por las raíces vegetales, residuos vegetales y abonos orgánicos. Los cambios en el uso del suelo provocan deforestación, dando origen a una emisión excesiva de CO₂ (Jaurena et al. 2019).

4.1.5 Óxido Nitroso (N₂O)

El N₂O es un gas de efecto invernadero que interactúa con el cambio climático, este gas al llegar a la estratósfera provoca el deterioro de la capa de ozono (Núñez-Ramos et al., 2021).

En la agricultura y ganadería este gas se origina en el suelo por medio de nitrificación y desnitrificación. En la nitrificación el nitrógeno amoniacal es oxidado a dióxido de nitrógeno (NO₂) y enseguida es transformado en nitrato, dando origen al N₂O. En la desnitrificación el nitrato actúa como receptor de Oxígeno (O₂), lo que reduce el nitrato a nitrógeno gaseoso (N₂), dando origen al N₂O (Jaurena et al. 2019).

4.1.6 Reducción de metanógenos con Metabolitos secundarios

Las plantas contienen metabolitos secundarios, estos integran una gran variedad de grupo de moléculas, que interactúan en procesos de adaptación de la planta con el medio ambiente pero no forman parte de los procesos bioquímicos del desarrollo celular y de la reproducción. Se encuentran en más de 24,000 estructuras, algunos de los compuestos causan efectos anti nutricionales que son tóxicos en el ganado. Las plantas que contienen metabolitos secundarios o fitoquímicos, tienen inhibidores de la proteasa, lectinas, alcaloides, aminoácidos no proteicos, glucósidos cianógenicos, saponinas y taninos (Makkar et al., 2007c).

Las plantas producen diferentes tipos de taninos, sin embargo, los efectos de estos son diferentes. La alimentación rica en taninos facilita el proceso de digestión, donde interviene una fuente de energía que se lleva en la desintoxicación de cualquier compuesto fenólico. Por lo tanto, se sugiere adicionar los taninos de forma racional en la alimentación animal, ya que tiene efectos en los procesos fisiológicos sobre los microorganismos modulando los efectos de los taninos (Mueller-Harvey. 2006). Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos producidos por las plantas, estos regulan la fermentación en el rumen, mejorando la adsorción de los nutrientes (Castaño-Jiménez et al., 2023).

4.1.7 Taninos

Son estructuras polifenólicas que se clasifican en taninos hidrosolubles y taninos condensados (Makkar et al., 2007c).

Son compuestos que inciden en los microorganismos del rumen, estos atacan de forma indirecta a las arqueas metanogénicas (Sandoval-Pelcastre et al., 2020).

4.1.8 Taninos Hidrosolubles (TH)

Los taninos hidrosolubles tienen un núcleo central y forman carbohidratos, uniéndose con ácidos carboxílicos fenólicos por enlaces éster (Figura. 3) (Makkar et al., 2007c). Los TH actúan en la actividad de las arqueas disminuyendo su actividad o su crecimiento (Castaño-Jiménez et al., 2023).

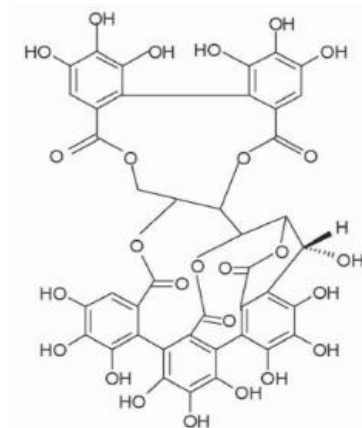


Figura 3. Estructura de tanino hidrolizable de árbol de roble. Fuente. Makkar et al., (2007).

4.1.9 Taninos Condensados (TC)

Los taninos condensados conocidos como proantocianidinas, forman oligómeros de dos o más flavan-3-oles como la catequina, epicatequina o galocatequina (Figura. 4) (Makkar et al., 2007). Los TC reducen el metano de forma indirecta incidiendo en la degradación de la fibra, estos TC reducen la degradabilidad de la proteína (Sandoval-Pelcastre et al., 2020).

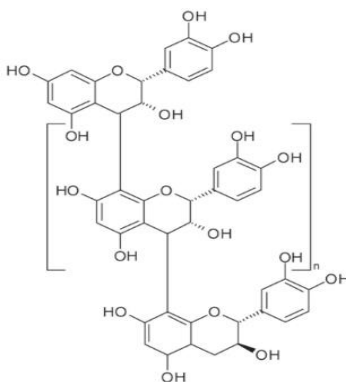


Figura 4. Estructura de tanino condensado de *Sorghum procyanidin*.
Fuente. Makkar et al., (2007c).

4.1.10 Saponinas

Las saponinas son compuestos estructurales, tienen un esteroide (Fig. 5) o aglicona triterpenoide (sapogenina) (Figura. 6), que estando unida puede formar uno o más restos de oligosacáridos en enlace glucosídico. Los carbohidratos forman pentosas, hexosas o ácidos urónicos, la existencia de grupos polares (azúcar) y no polares (esteroides o tripernos), les proporciona a las saponinas ciertas propiedades activas que pueden tener efectos negativos o positivos. Uno de los principales efectos negativos, es la interacción con los componentes celulares y de membrana deteriorando los glóbulos rojos, fosfolípidos y colesterol de los eritrocitos (Makkar et al., 2007d).

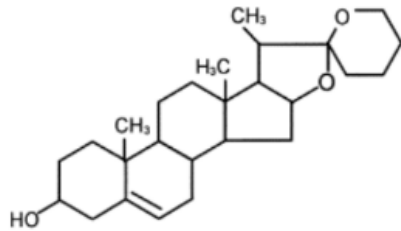


Figura 5. Estructura de saponina esteroide.
Fuente. Aragadvay-Yungán, (2019).

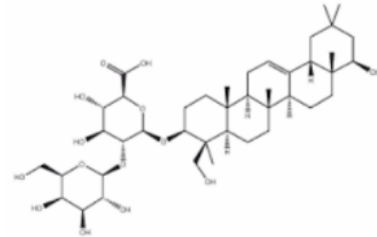


Figura 6. Estructura de saponina tripernoide.
Fuente. Aragadvay-Yungán, (2019).

Las saponinas son de estructura anfipática (solubles en agua) con un alto peso molecular, modifican la producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) incrementando la producción de propionato en el rumen, reduciendo el acetato o butirato, estos cambios generan una menor emisión de CH₄ (Castaño-Jiménez et al., 2023). Reducen la población de protozoarios de la actividad metanogénica de forma indirecta, donde esta relación produce de 9-37 % de las emisiones de CH₄. Estos compuestos eliminan a los protozoarios, que al formar esteroides en la membrana se deterioran y se desintegran (Vélez-Terranova et al., 2014).

4.1.11 Flavonoides

Los flavonoides son las estructuras polifenólicas más numerosas. Estos se encuentran en todo el reino vegetal. Forman parte de la epidermis de las hojas y en las cascarras de las frutas (Vélez-Terranova et al., 2014). Su estructura contempla 15 átomos de carbono que se distribuyen en dos anillos bencénicos, fijados en un anillo heterocíclico (Figura. 7) (Ortega-Cabello et al., 2018).

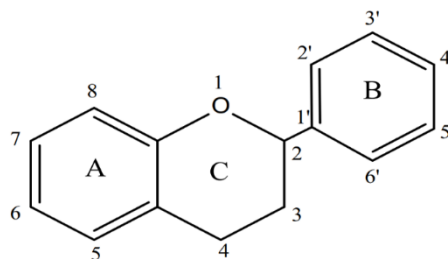


Figura 7. Estructura general de los flavonoides. Fuente. Ortega-Cabello, (2018).

Tipos de flavonoides:

Las Flavonas y flavonoles se encuentran en la mayoría de los vegetales. Estos forman parte de los pigmentos amarillos de las plantas. Las flavononas y flavononoles, abundan en menor cantidad en las plantas, estos son incoloros. Las antocianinas, están como glicósidos, después de la clorofila. Son los pigmentos más visibles para el ojo humano. Estas proporcionan el color rosa, violeta y azul a las plantas. Por su parte, los isoflavonoides, se encuentran en menor cantidad en las plantas (principalmente leguminosas). La mayor de los flavonoides de esta categoría, son coloreados, tal es el caso de las fitoalexinas. Las chalconas y dihidrochalconas son poco abundantes. Estas se convierten en flavanonas, son de color anaranjadas y rojizas. Finalmente, las auronas están principalmente en las flores, con pigmentos de color amarillo (Cartaya y Reynaldo, 2001). Las plantas que contienen flavonoides reducen la producción de metano y estimulan el metabolismo de las bacterias que se encuentran en el rumen (Vélez-Terranova et al., 2014). También mejoran la fermentación de la dieta, esto mediante la liberación de acetato y propionato. Tienen efecto antiinflamatorios, antivirales y antialérgicos (Camacho-Escobar et al., 2020a).

4.1.12 Fisiología ruminal

El estómago de los rumiantes se encuentra dividido en cuatro compartimentos, rumen, retículo, omaso y abomaso (Araujo-Febres y Vergara-López, 2007). La microbiota que existe en el rumen, se encarga de realizar el proceso de digestión y fermentación de los alimentos. Estos procesan los carbohidratos transformándolos en AGV. Algunos microbios utilizan la energía junto con el nitrógeno que adquieren del alimento, para sintetizar sus propias proteínas para su crecimiento, se le conoce como proteína cruda microbiana (PCM). Los principales beneficios de estos microbios, son el uso de los polisacáridos vegetales y el nitrógeno no proteico de la dieta. Los microbios que existen en el rumen, reaccionan según el tipo de dieta que se les esté proporcionando. Alterando las poblaciones de los microbios y la fermentación del alimento en el rumen (Liu et al., 2021).

4.1.13 Rumen

El rumen es una cámara de fermentación con una temperatura de 38 a 42 °C, esto favorece para que exista un ecosistema de microorganismos, que a la vez cumplen diversas funciones. También tiene un pH ácido-neutro de 5.5 a 7.0, el pH es uno de los principales determinantes del tipo y cantidad de microorganismos que pueden sobrevivir en el rumen (Arias-Islas et al., 2020). El rumen contiene entre 180-225 litros de alimento ingerido, las especies microbianas sintetizan las proteínas, celulosa, almidón, entre otros nutrientes ingeridos, transformándolos en aminoácidos y azúcares (Martínez-Muñoz et al., 2022). En el rumen se encuentran bacterias, arqueas, protozoarios y hongos, la materia orgánica que ingieren es convertida en energía para el crecimiento, obteniendo como producto final los AGV (Sandoval-Pelcastre et al., 2020).

4.1.14 Hongos

La función de los hongos es degradar la fibra, representan del 10 al 20 % de la población ruminal, tienen la capacidad de ejercer acción mecánica, enzimática y la facilidad para romper las barreras estructurales de los tejidos vegetales de las plantas (Ramos Morales y Yáñez Ruiz, 2022).

Los hongos en el rumen son degradadores de los tejidos vegetales lignificados del alimento. Son anaeróbicos obteniendo energía por la fermentación de los carbohidratos, proceso por el cual la fuente de energía actúa como receptor y como donante de electrones. La reproducción es asexual y estos no solo se encuentran en el rumen sino también en el tracto digestivo (Kumar-Choudry et al., 2015).

4.1.15 Protozoarios

Los protozoarios son ciliados, con un tamaño de 10 a 150 μm , estos representan el 50 % de la población de ruminal, están indirectamente relacionados con la producción de metano por la relación con las arqueas metanogénicas (Ramos Morales y Yáñez Ruiz, 2022). Estos no se adhieren a las partículas del alimento y comen bacterias, partículas de alimento, además digieren carbohidratos, proteínas y grasas (Kumar-Choudry et al., 2015).

4.1.16 Bacterias

Las bacterias que abundan en el rumen tienen la función de degradar paredes celulares de la planta, almidón, lípidos, proteínas, fibra y degradación de celulosa y hemicelulosa. Las bacterias constituyen el 95 % de la población microbiana del rumen, aún falta investigación científica para conocer como es la interacción de las bacterias con los microorganismos del rumen (Ramos Morales y Yáñez Ruiz, 2022).

En el rumen abunda una población de bacterias, tales como las *Fibrobacter succinogenes*, *Eubacterium uniformis* y *Treponema saccharophilum*. Estas participan en la degradación de la fibra como la celulosa, hemicelulosa y pectina (Kumar-Choudry et al., 2015).

4.1.17 Arqueas

Las arqueas metanogénicas son las principales productoras de metano, estas pertenecen al género *Methanobrevibacter* (López-Reyes et al. 2022). Pueden representar del 0.3 al 3 % de la población ruminal, no todas son metanogénicas pero si la mayoría de su población, estas se encuentran en menor cantidad que las bacterias. Aún falta caracterizar nuevas especies. Tienen la facilidad de establecer la simbiosis con otros grupos del rumen, relacionado con la transferencia de hidrógeno en el rumen. Estas se encuentran de manera interna o adherida con los protozoarios en un 25% para la captación del hidrógeno. Algunos géneros de las arqueas no están asociadas con los protozoarios y podría traer consecuencias como la producción de metano y dar como resultado la metanogénesis ruminal causando repercusiones con el medio ambiente (Ramos Morales y Yáñez Ruiz, 2022). Las arqueas utilizan el H₂ y lo unen con el CO₂ formando el metano, este gas acumulado en el rumen es expulsado por la boca, donde llega a la atmósfera mediante el eructo del animal, perdiendo en promedio el 6% de la energía ingerida, sin embargo, todo esto depende de las características del alimento (Sandoval-Pelcastre et al., 2020).

4.2 Estado del arte

Camacho-Escobar et al. (2020b) evaluaron la digestibilidad *in vitro*, la composición química y producción de metano de forrajes de corte. Ellos concluyeron que los pastos *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán morado, *Pennisetum purpureum* cv. Maralfalfa y *Panicum maximum* produjeron menos de 50 mL de metano. Por otro lado, reportan que *Cynodon nlemfuensis* y *Panicum maximum* produjeron los niveles más bajos de bióxido de carbono (CO₂) con 115.74 mL g⁻¹ MS y 117.57 mL g⁻¹ MS a las 72 horas de incubación.

Ávila-Serrano et al. (2020) evaluaron la implementación de 45 % de *Leucaena leucocephala* en la adición de pasto *Cynodon nlemfuensis*, ellos observaron que disminuyó el 18% de metano y redujo el 24% de dióxido de carbono en la fermentación ruminal *in vitro*, concluyeron que se deben realizar investigaciones para analizar la presencia de metabolitos secundarios para analizar la degradabilidad en el rumen.

Pérez-Can et al. (2020) evaluaron la producción de metano *in vitro* y características genéticas de especies arbóreas y arbustivas forrajeras, utilizaron follajes de *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Morus alba*, *Tithonia diversifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Cynodon nlemfluensis*, *Megathyrsus maximus*, *Piscidia piscipula* y *Hibiscus rosa-sinensis*, ellos observaron una menor producción de metano en *L. Leucocephala* con 14.47 mL g⁻¹ MS, sin embargo las especies que produjeron mayor cantidad de metano fueron *C. nlemfluensis*, *G. sepium* y *H. rosa-sinensis* (37.60, 40.49 y 47.64 mL g⁻¹ MS), finalmente concluyen que la adición de *L. leucocephala*, *P. piscipula* y *G. ulmifolia* son una alternativa por su aporte de proteína con 21.37 %, 12.91 % y 13.23 %, siendo una estrategia para hacer mejor el aprovechamiento de los recursos disponibles en épocas de sequía en zonas tropicales.

Ku-Vera, (2019) menciona que la inoculación de ciertos porcentajes de *Leucaena leucocephala* en pasto *Pennisetum purpureum* en la alimentación de ganado bovino, referente a las pruebas *in vivo* del experimento, disminuye la emisión de metano entérico, él concluye que el uso de pastos con *Leucaena leucocephala* en zonas tropicales podría ser una alternativa en las emisiones de metano.

López-Herrera et al. (2021) evaluaron la producción de gases en microsilos con la adición de cuatro fuentes de carbohidratos en leguminosas con edades de corte de *Vigna unguiculata* (40 días), *Arachis pintoii* (40 días), *Cratylia argéntea* (75 días), *Erythrina poeppigiana* (75 días), ellos observaron una menor producción de metano en *Arachis-Maíz* y *Erythrina-Maíz* con 10.12 y 10.9 LCH₄ kg MS, concluyeron que es necesario seguir investigando por la presencia de taninos ya que influyen en la mitigación de CH₄.

5. Metodología

5.1 Área y periodo de estudio

La investigación se desarrolló del 26 de junio de 2023 al 03 de noviembre de 2024, en la comunidad El Coyol Santa Clara, perteneciente al municipio de Tantoyuca, Veracruz, México. Este municipio se ubica entre el paralelo 21° 06´ y 21° 40´ latitud norte; entre el meridiano 97°, 59´ y 98° 24´ longitud oeste (Figura 8). Con una altitud entre 10 y 300 msnm. El clima se clasifica como cálido-subhúmedo con presencias de lluvias en verano. La temperatura oscila entre los 22-26 °C y el rango de precipitación es de 1,100-1,300 mm. Colinda con los siguientes municipios: al norte con Tempoal, Ozuluama de Mascareñas y Chontla, al este con Chontla e Ixcatepec, al sur colinda con Ixcatepec, Chicontepec, el estado de Hidalgo, Chalma y Platón Sánchez y al oeste con Platón Sánchez y Tempoal (Figura 8). (Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave [SIEGVER], 2020). La edafología del 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 %) (Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], (2010).

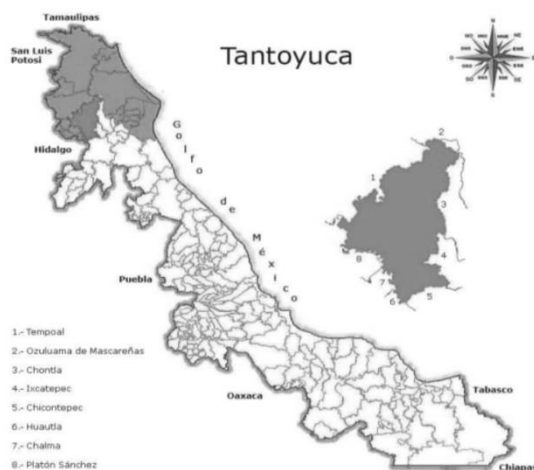


Figura 8. Ubicación geográfica del municipio de Tantoyuca Veracruz, México. Fuente. Sistema de información estadística y geográfica del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, (2020).

5.2 Descripción de los tratamientos

Se utilizaron 4 accesiones de *Cenchrus purpureus* a una edad de corte de 130 días. Las accesiones utilizadas fueron Maralfalfa, Taiwán, Roxo y CT-115 (material genético proporcionado por el campo experimental, la Posta INIFAP Paso del Toro, municipio de Medellín, Veracruz). También se usó follaje de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*. Estos pastos se mezclaron con las leguminosas en una proporción 80 % pasto y 20 % leguminosa (Tabla. 1). Se enviaron al laboratorio de nutrición animal de la Universidad Autónoma de Yucatán dos muestras una de *Gliricidia* y de *Leucaena*, para determinar la cantidad de taninos condensados y proteína cruda que estas contenían, los resultados del análisis fueron expresados en porcentaje de base seca (Cuadro. 2) y anexos (Figura. 10.1).

Tabla 1. Representación de los tratamientos. Se realizaron mezclas 80 % pasto y 20 % de leguminosa y un control donde solo fue pasto

Accesiones	Tratamientos
Maralfalfa	T1 Control
	T2 Maralfalfa + <i>Gliricidia sepium</i>
	T3 Maralfalfa + <i>Leucaena leucocephala</i>
Taiwán	T4 Control
	T5 Taiwán + <i>Gliricidia sepium</i>
	T6 Taiwán + <i>Leucaena leucocephala</i>
Roxo	T7 Control
	T8 Roxo + <i>Gliricidia sepium</i>
	T9 Roxo + <i>Leucaena leucocephala</i>
CT 115	T10 Control
	T11 CT 115 + <i>Gliricidia sepium</i>
	T12 CT 115 + <i>Leucaena leucocephala</i>

Tabla 2. Representación del contenido en base seca expresados en porcentaje de taninos condensados y proteína cruda (PC) de los análisis solicitados al laboratorio de nutrición animal de la Universidad Autónoma de Yucatán.

Leguminosas	Taninos totales (%)	Taninos condensados (%)	PC (%)
<i>Gliricidia sepium</i>	0.07	11.40	13.58
<i>Leucaena leucocephala</i>	2.25	23.05	21.68

5.3 Variables de estudio

Las variables fueron analizadas en el Laboratorio de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, siguiendo las técnicas de Sosa de Pro (1979).

5.3.1 Digestibilidad *in vitro*

Para determinar la digestibilidad *in vitro* se siguió la metodología de Sosa de Pro (1979).

Tabla 3. Materiales y reactivos para determinar digestibilidad *in vitro*.

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de digestibilidad <i>in vitro</i> de 100 cm³ • Termo de 1 litro • Crisoles de porcelana (con fibra de vidrio) • Tapones • Licuadora 	<ul style="list-style-type: none"> • 40 cm³ de solución Buffer (Saliva artificial de McDougal) • 10 cm³ de líquido ruminal • Baño María (Temperatura 39 a 40 °C)

El líquido ruminal utilizado, fue extraído de un toro Holstein donante del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. El líquido ruminal extraído fue depositado en un termo, siendo transportado de forma inmediata al laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo, el líquido se licuo y filtro para eliminar los residuos del alimento,

En los tubos de digestibilidad, se procedió a pesar 0.4 g de muestra de pasto y 0.1 g de muestra de leguminosa (en 0.1 gramos de leguminosa iba 0.01 g de taninos condensados de *Gliricidia* y 0.02 g de *Leucaena*) en total 0.5 g de mezcla del pasto con leguminosa, la muestra se depositaba en los tubos de digestibilidad en base seca.

También al tubo que contenía la muestra se le adiciono 10 cm³ de líquido ruminal (filtrado) y 40 cm³ de saliva artificial de McDougal, después de preparar los tubos de digestibilidad.

Los tubos fueron colocados dentro de un baño maría con una temperatura de 39 a 40 °C simulando un falso estómago, moviendo los tubos cada cierto tiempo en la mañana, tarde y noche, con la finalidad de que los microorganismos interactuaran con la mezcla que contenía en el tubo de digestibilidad. Donde permanecieron en observación durante 24, 48 y 72 horas de incubación. Después de las 72 horas de incubación, los tubos de digestibilidad se retiraron del baño maría.

El contenido de los tubos de digestibilidad se vaciaron en bazos Berzelius de 100 cm³ para realizar el proceso de la fibra detergente neutra de la digestibilidad *in vitro*, adicionando 20 cm³ de solución detergente neutra, las muestras que quedaban en las paredes del tubo de digestibilidad se lavaba con pequeñas porciones de solución detergente para evitar que las partículas quedaran adheridas en el tubo. Seguidamente el bazo Berzelius se puso a hervir durante 60 minutos, luego se pesaba un crisol con fibra de vidrio, posteriormente de los 60 minutos, la muestra se vaciaba en un crisol ya pesado y seco, y se colocaba en una bomba de vacío, lavando el crisol con agua caliente hasta que desapareciera la espuma de la muestra. Por último se colocaban las muestras ya filtradas en una estufa a 105 °C durante 12 horas, transcurrido el tiempo las muestras se retiraban de la estufa y se colocaban en un desecador durante 60 minutos, después se sacaba del desecador y se pesaban cada una de las muestras. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{DIVMS} = \frac{g \text{ ms} - (g \text{ MSn } g \text{ MSb})}{g \text{ MSi}} \times 100$$

Donde:

DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

g MSi= gramos de materia seca inicial

g MSn= gramos de materia seca no digerida

g MSb= gramos de materia seca del blanco

5.3.2 Dióxido de carbono (CO₂)

Para la estimación del dióxido de carbono se utilizó la misma técnica de la digestibilidad *in vitro*, donde también se prepararon 4 tubos de digestibilidad denominados blancos, donde únicamente contenían líquido ruminal y saliva artificial de McDougal, con la finalidad de conocer la producción de gases (el valor de los blancos se le sumaba para obtener el valor total producido de los gases), estos sirvieron como referencia para cuantificar las partes por millón (ppm). En los tapones de los tubos de digestibilidad se les colocó una jeringa de 60 mL con la finalidad de capturar el gas producido por los microorganismos que estaban en el tubo de digestibilidad, estuvieron en observación durante 72 horas de incubación. La primera medición fue a las 24 horas, con una regla se medía el volumen en cm de gas colectado, se retiraba la jeringa dejando la aguja en el tapón y de manera rápida tapando el orificio que conecta con la aguja para impedir que el gas escapara, después se vaciaba en un frasco de 250 mL y de forma inmediata se introducía un sensor que cuantificaba las partes por millón (ppm) de CO₂ (modelo Vernier Or), los datos que iba obteniendo el vernier se iban almacenando en un software, este mismo proceso se hizo a las 48 y 72 horas.

Finalmente los datos de ppm de dióxido de carbono registrados, se convirtieron a mL. Aplicando la siguiente fórmula:

$$ppm = (\text{volumen en mL} \div \text{volumen total en mL}) \times 1000000 = mL$$

5.3.3 Producción de metano (CH₄)

Morsy et al., (2022) Mencionan que los gases producidos en el rumen son principalmente metano y dióxido de carbono. De acuerdo a lo mencionado anteriormente se estimó por diferencia del dióxido de carbono el metano. Se utilizaron las mediciones registradas por el vernier Or que estimó las ppm del dióxido de carbono. Las ppm registradas se les corrigió el valor de los blancos y se convirtieron a volumen de CO₂ a mL y a ese valor se le restó el total de gases de acuerdo a la muestra ingresada de materia seca y así obtener el dióxido de carbono correspondiente a la muestra y el restante se le consideró como metano.

5.3.4 Fibra Detergente Neutra (FDN)

Este análisis se utilizó para estimar el contenido de FDN de las muestras. Se utilizaron crisoles de Gooch para filtrar, estos se lavaron y se le colocaron dentro del crisol un filtro de fibra de vidrio, posteriormente se acomodaron en una estufa a una temperatura de 105 °C para que se secan durante 24 horas, después se sacaron de la estufa y se metieron en un desecador durante 60 minutos, pasando ese tiempo se pesaron y se fueron rotulando por tratamiento, también se utilizaron vasos de Berzelius de 100 cm³, también se usó reactivo de detergente neutro de 20 a 25 cm³, bomba de vacío, libre en juguete comercial, agua caliente para el filtrado.

Estos se rotularon por tratamiento, adicionando de 20 – 25 cm³ de detergente neutro en el vaso, la muestra que quedaba en el tubo se le retiraba con agua destilada para que esta cayera dentro del vaso, las muestras se colocaron en el aparato para la determinación de fibra, se dejó hirviendo durante 60 minutos. Pasado la hora, se colocó un crisol rotulado en un matraz de filtrado, la muestra del vaso de Berzelius se vaciaba en el crisol, con una pizeta se limpiaban las paredes del vaso para que no quedaran partículas adheridas, se enjuagaba con agua caliente hasta que la espuma se eliminara. Una vez que la espuma quedaba eliminada de cada uno de los crisoles, estos se metían a la estufa durante 24 horas. Posteriormente se colocaban dentro de un desecador durante 60 minutos y se pesaban en una báscula analítica.

Para determinar el contenido de la FDN se utilizó la siguiente fórmula.

Cálculos:

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

$$\% FDN_{BS^*} = \frac{\% \text{ de FDN BH}}{\% \text{ materia seca}} \times 100$$

5.3.5 Fibra detergente Acida (FDA), Lignina y Sílice

Se utilizó la metodología de Sosa de Pro (1979) para los tres análisis

Fibra detergente acida

Se pesó 2 gramos de muestra y se depositó en un vaso Berzelius de 100 mL. Enseguida se le agregó 20 cm³ de solución de detergente ácido, se tapó el vaso con un recipiente resistente al calor con agua corriente para simular un condensador y se dejó hervir durante 60 min.

Al finalizar el tiempo de ebullición se filtró al vacío abierto en un crisol de Gooch con filtro de fibra de vidrio una vez seco y pesado, se lavó con agua hirviente hasta que la prueba de anaranjado de metilo diera negativa. Una vez enjuagado totalmente se colocaron en una estufa de secado a 100 °C durante toda una noche y finalmente se dejó enfriar en un desecador y se pesó.

Se aplicó la siguiente fórmula:

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

Lignina

Se utilizó el residuo de la fibra detergente ácida, el cual el crisol con dicho residuo se colocó dentro de un crisol de porcelana más grande en donde se agregó ácido sulfúrico al 72 % m/m durante 36 min. Un minuto antes de finalizar el tiempo se colocó en el equipo de filtración, y lavar con agua hirviente hasta obtener negativo el anaranjado de metilo, enjuagaba bien y se colocó en la estufa de secado a 100 °C por 12 horas, una vez transcurrido el tiempo se dejaba enfriar en un desecador y se pesaba. Se aplicó la siguiente fórmula:

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

Sílice

El residuo obtenido en el análisis de lignina se incineró a 550 °C durante 2 horas, una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar y se pesó, se utilizó la siguiente fórmula:

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

5.3.6 Cenizas

Se utilizaron crisoles de porcelana, estos se lavaron y se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de 50 °C durante 24 horas. Se ocuparon mecheros para poder incinerar, mufla para desintegrar la materia orgánica (MO). Se pesó 1 g de muestra, esta se depositó en los crisoles con sus respectivos tratamientos. Los crisoles se incineraron hasta que desapareciera el humo. Después los 48 tratamientos se colocaron dentro de la mufla a una temperatura de 500 °C durante 2 horas y media (Hasta que la mufla mantuvo los 500 °C). Pasado el tiempo se sacaron los crisoles dejándose a temperatura ambiente durante unos 10 minutos, después se colocaron dentro de un desecador durante 40 minutos. Posteriormente se procedió a pesar los crisoles.

Para determinar el contenido de Cenizas se utilizó la siguiente fórmula.

Cálculos:

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

$$\% \text{Cenizas}_{BS^*} = \frac{\% \text{ de cenizas BH}}{\% \text{ materia seca}} \times 100$$

5.3.7 Proteína Cruda (PC)

Para la determinación de proteína cruda se utilizaron 6 matraz Kjeldahl de 800 cm³, 1 cucharada catalizadora de PC (Media rasa de la cuchara), se adicionaron 12.5 cm³ de Ácido Sulfúrico concentrado (este procedimiento se hizo en cada uno de los matraces), después se colocaron en la parrilla del digestor durante 30 minutos hasta que la muestra tomara un color verde turquesa o verde azulado, después de que las muestras cambiaran de color, se apagó la parrilla y se dejó enfriar durante unos minutos, posteriormente, se usaron matraces Erlenmeyer de 250 cm³, en estos se depositaron 32.5 mL de Ácido Bórico al 4 %, y se le colocaron 2 gotas de indicador de proteína, después de que los matraces Erlenmeyer quedaran preparados, estos se colocaron de bajo del refrigerante junto al destilador con el tubo colector ligeramente sumergido en la solución del matraz Erlenmeyer. Una vez que los matraces Kjeldahl se pudieran manipular, se le agrego 130 mL de agua destilada, luego se le adicionaron 50 mL de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 28 % + perlas de ebullición y se colocaba en la parrilla del destilador, hasta que la

solución de la muestra alcanzó los 125 cm³. Cuando el matraz Erlenmeyer recolecto los 125 cm³, primero se bajó y después se apagó la parrilla, esto para evitar que la muestra sea succionada. Las muestras recolectadas se titularon con Ácido Clorhídrico (tomando en cuenta su normalidad, 0.0946 y 0.1588) hasta que el color fuera rosa, posteriormente se contaron los mL gastados. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% PC = \frac{V \times N \times 0.014 \times 6.25 \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Donde:

V = Volumen en mL

N = Normalidad en mmol / mL

0.014= mili equivalente del N en g/mmol

6.25 = Factor de conversión de g de N a g de proteína en g/g

5.4 Descripción y manejo del objeto de estudio

Se estableció un área experimental sembrando varetas (fitómetros con 3 entrenudos) con una inclinación de 45° de 4 accesiones. Para el establecimiento no se aplicó ningún tipo de fertilizante orgánico ni químico. Se utilizó arado y rastra, durante el trabajo en campo solo se realizó la limpieza de forma manual para su mantenimiento. Se utilizó un área de 552 m², y se establecieron 24 parcelas, donde la superficie fue de 23 m³ (4.8 x 4.8 m²), la distribución de los tratamientos se hizo de forma aleatoria con una separación entre surco es de 80 cm con hileras de 5 macollos. El 26 de junio de 2024 se realizó un corte de homogenización a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo (El cultivo ya tenía un año de establecimiento), donde el material genético vegetativo se recolectó el 03 de noviembre de 2024 a los 130 días de rebrote (Figura.11). También se recolectó follaje de *Gliricidia sepium* y de *Leucaena leucocephala* entre los meses de mayo y agosto de 2024. El follaje se dejó deshidratar a la sombra durante dos semanas después de la recolección.

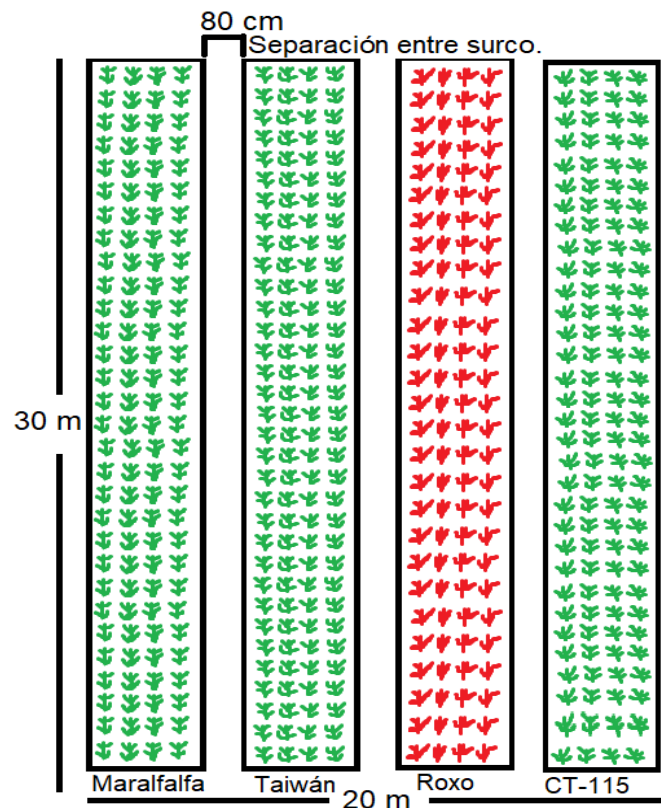


Figura 9. Distribución de las accesiones de *Cenchrus purpureus*.

5.5 Establecimiento en campo

Se recolectaron muestras de Maralfalfa, Taiwán, Roxo y CT-115 donde la muestra útil se obtuvo del centro de la unidad experimental (2 m²), para evitar el efecto borde. El corte se hizo a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo. Se tomaron dos tipos de muestras, la primera muestra fue de pasto en verde de cada una de las accesiones. Se cortaron los macollos de cada accesión para la obtención de las muestras. Conforme se iba cortando se picaba con una tijera de jardinería para reducir la planta completa a partes más pequeñas. Después de que se picaba, se deshidrato al aire libre y estas se esparcieron encima de una bolsa negra, colocando las muestras a sol directo durante 5 días para que fuera reduciéndose el contenido de humedad, removiendo frecuentemente para homogenizar el proceso de secado. La segunda muestra fueron de leguminosa de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, se recolecto y se deshidrato a la sombra. Posterior a la pérdida de humedad, se pesaron 48 muestras de 30 g, utilizando una báscula con una legibilidad de 0.1 g. Posteriormente se depositaron en bolsas de papel estraza y se colocaron dentro de una bolsa ziploc para su conservación y transporte. Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar los análisis pertinentes de las mismas muestras. Donde el primer procedimiento fue moler las muestras en un molino con una criba de 2 mm. Estas se almacenaron en bolsas de plástico de capacidad de 500 g.

5.6 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 -esimo tratamiento i ; $i= 1,2,\dots,t$

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

Los datos recolectados y ordenados en una base de datos, fueron analizadas con un ANDEVA de una vía y pruebas de medias de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), se realizó por separado el análisis de las accesiones y de las leguminosas mezcladas con cada una de los pasto donde se aplicó el mismo procedimiento.

6. Resultados y discusión

6.1 Resultados y discusión por accesión

Fibra Detergente Neutra

El FDN es importante ya que influye en la calidad nutricional de los forrajes, porque conforme la planta va madurando se va incrementando la pared celular (Barahona-Rosales y Sánchez-Pinzón, 2005). Los forrajes que tienen FDN con valores <40 % son considerados de buena calidad y los forrajes que presentan valores >60 % la digestibilidad se ve afectada e influye con un menor consumo del alimento (Van Soest, 1982).

En esta investigación se encontró diferencia estadística entre las accesiones evaluadas, donde resalto el pasto Taiwán con el valor más alto de FDN, el menor contenido de FDN fue para la accesión Roxo. Entre el pasto Maralfalfa y CT-115, no hubo diferencia estadística ($p>0.05$) (Tabla. 2), pero si fueron diferentes a los pastos anteriormente mencionados (Figura. 12).

Tabla 4. Porcentaje de Fibra detergente neutra (FDN), Fibra detergente acida (FDA), Digestibilidad, Proteína (PC), Lignina (Lig), Cenizas y Sílice de las accesiones de *Cenchrus purpureus* a la edad 130 días

Accesión	FDN (%)	FDA (%)	Digestibilidad (%)	PC (%)	Lig (%)	Cenizas (%)	Sílice (%)
Maralfalfa	71.53 ^b	47.75 ^b	65.61 ^a	7.91 ^b	9.29 ^b	8.95 ^b	0.002 ^b
Taiwán	74.94 ^a	52.38 ^a	58.20 ^b	10.41 ^a	11.22 ^a	9.20 ^b	0.002 ^b
Roxo	65.71 ^c	48.36 ^b	62.85 ^c	6.22 ^c	10.96 ^a	9.50 ^b	0.002 ^b
CT115	70.18 ^b	47.95 ^b	65.80 ^a	7.47 ^b	10.78 ^a	10.40 ^a	0.004 ^a
EE	0.49	0.57	0.41	0.27	0.22	0.18	0.0002

Medias por columna con distinta literal indican diferencia estadística ($p<0.05$).

Guerra-Medina et al. (2021) evaluaron la fibra detergente neutra del pasto Taiwán sin fertilización y con fertilización, ellos reportan en el pasto Taiwán un 61.09 % de FDN a 45 días de edad. Comparado con esta investigación el porcentaje de FDN de Taiwán fue mayor con 74.94%, posiblemente por la diferencia de edad a los 85 días adicionales. Maldonado-Méndez et al. (2024) evaluaron la FDN a diferentes edades de corte el pasto Maralfalfa, ellos encontraron que a la edad de 96 días el porcentaje de la FDN fue de 73.50 %, este resultado es diferente a lo reportado en esta investigación, una de las razones por lo que vario fue porque ellos realizaron la evaluación en el trópico húmedo, y posiblemente favoreció el incremento de FDN. Álvarez-Vázquez et al. (2021) evaluaron el pasto Maralfalfa a diferentes intervalos de corte, donde a los 167 días acumulo 79.06 % de FDN, ellos reportaron que a medida que la planta va madurando se incrementa la pared celular, este resultado es similar a lo reportado en esta investigación donde la FDN fue de 71.53 %, la única diferencia es la de edad de corte. Medrano-Escobar et al. (2024) evaluaron en periodo de sequía la FDN del pasto CT-115 a diferentes edades de corte, donde a los 90 días acumulo el 79.06 %, este valor es parecido a lo obtenido en esta investigación donde el CT-115 acumulo 70.18%, el incremento de FDN que ellos obtuvieron fue posiblemente por las condiciones climatológicas de la zona. de Dios-León et al. (2022) evaluaron el CT-115 en cinco edades de corte, durante tres épocas del año, a la edad de 90 días ellos reportaron una concentración de FDN del 64.4 %, estos resultados son diferentes a los reportados en esta investigación donde el CT-115 presento un alto contenido de FDN a la edad más avanzada de 130 días. Vivas-Quila et al. (2019) en una investigación evaluaron a diferentes frecuencias de corte la calidad nutricional del Roxo, donde a los 90 días el valor de FDN fue de 62.8 %, este resultado es similar a lo reportado en esta investigación donde el valor de FDN fue menor con 65.71 %, ante las demás accesiones evaluadas. Demostrando que la edad del forraje influye en el incremento de FDN.

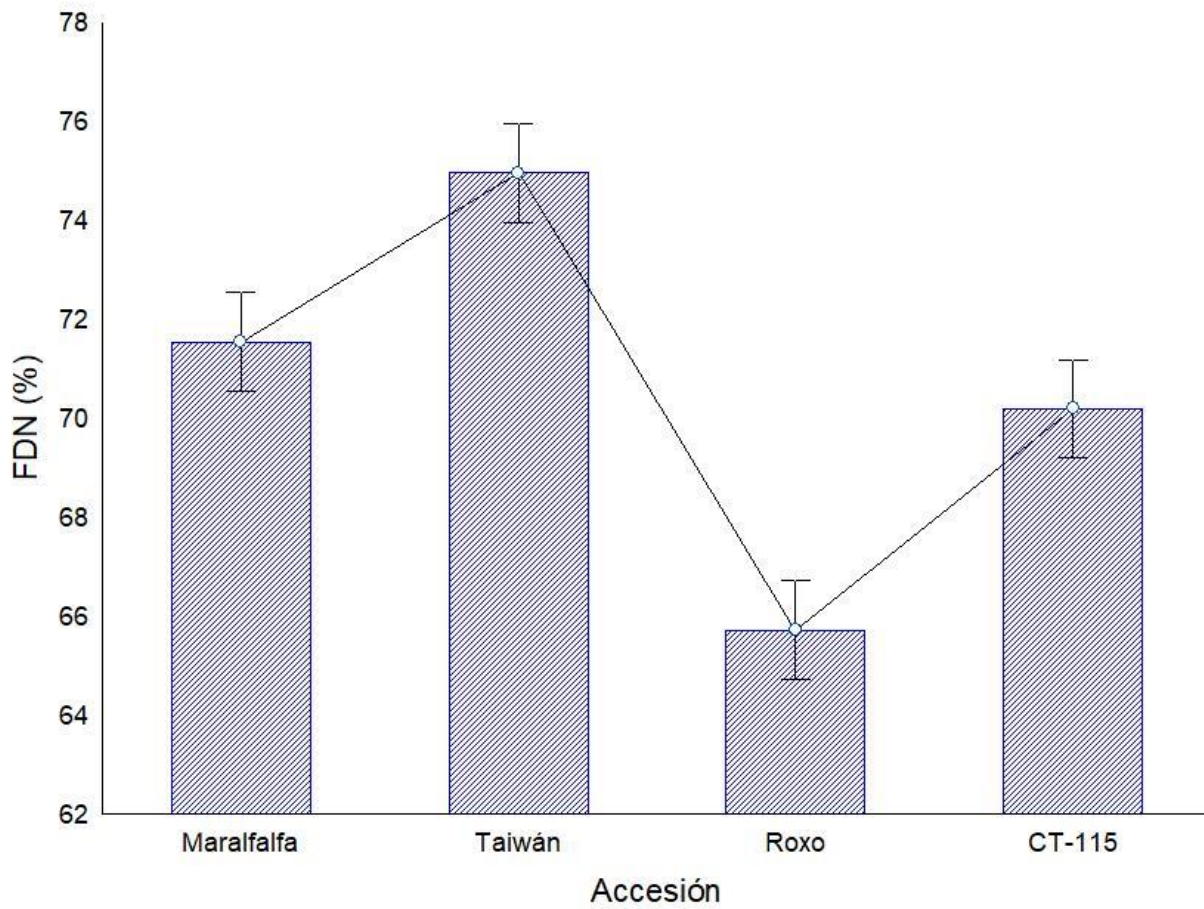


Figura 10. Representación gráfica de las accesiones de *Cenchrus purpureus*.

Fibra Detergente Ácida

En esta investigación se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) en las accesiones, donde la accesión con el valor más alto de FDA fue para Taiwán con 52.38 %, entre las accesiones Maralfalfa 47.75 %, CT-115 47.95 y Roxo 48.36 % entre estas accesiones no hubo diferencia estadística, pero si fue diferente con la accesión de Taiwán (Tabla. 2)

Guerra-Medina et al. (2021) reportaron en el pasto Taiwán un 43.4 % de FDA a los 45 días de corte. Este valor es bajo a lo reportado en esta investigación por la diferencia de edad del pasto.

Maldonado-Méndez et al. (2024) evaluaron en distintas edades la FDA del pasto Maralfalfa, ellos obtuvieron un 45.75 % de FDA a la edad de 96 días, este resultando es parecido a lo reportado en esta investigación porque a medida que aumenta la edad de corte en consecuencia se incrementa la FDA. Álvarez-Vázquez et al. (2021) evaluaron el contenido de FDA en el pasto Maralfalfa a diferentes edades de corte, donde ellos reportaron un contenido de FDA del 58.5% a la edad de 167 días, estos resultados son mayores a los reportados en esta investigación y demuestran que a medida que la planta madura puede a llegar incrementar un poco el contenido de FDA. Medrano-Escobar et al. (2024) evaluaron el contenido de FDA en el forraje CT-115 en diferentes edades de corte, ellos reportaron un 50.15 % de FDA a la edad de 90 días en un periodo de sequía, este resultado es diferente a lo reportado en esta investigación, porque el muestreo de los pastos que ellos evaluaron fue en época seca. de Dios-León et al. (2022) evaluaron el pasto CT-115 a diferentes edades de corte en tres épocas del año (Seca, Lluvias y Nortes) y encontraron valores de FDA de 47.1 % a los 90 días de edad en presencia de lluvia. Este resultado es similar a lo reportado en esta investigación donde el CT-115 acumulo el 47.95 % de FDA, la única diferencia es que ellos evaluaron el pasto en tres épocas del año y la presencia de lluvias posiblemente favoreció el incremento de FDA. Vivas-Quila et al. (2019) evaluaron la composición nutricional del pasto Roxo cosechado a 90 días determinando un valor de FDA del 44.9 %. El contenido de FDA que estos autores calcularon es similar a los presentados en esta investigación. Esta similitud podría ser consecuencia del manejo del pasto y la forma en la ellos hicieron la evaluación durante época seca y lluviosa.

Digestibilidad *in vitro*

En esta variable se encontró diferencia estadística entre las accesiones evaluadas. El valor más bajo de digestibilidad fue para Taiwán con el 58.20 % y Roxo con el 62.85 %. Para la accesión Maralfalfa fue de 65.61 % y para CT-115 con el 65.80 %, entre estas dos accesiones no hubo diferencia estadística, pero si fueron diferentes a las accesiones de Taiwán y Roxo ($p < 0.05$) (Tabla. 2) (Figura. 13).

Maldonado-Méndez et al. (2024) evaluaron el pasto Maralfalfa en distintas edades de corte, donde la digestibilidad *in vitro* fue del 64.91 % a la edad de 96 días, este valor es similar a lo reportado en esta investigación, estos autores mencionan que a medida que la planta tiene mayor edad la digestibilidad *in vitro* disminuye.

Álvarez-Vázquez et al. (2021) Evaluaron la digestibilidad *in vitro* del pasto Maralfalfa a diferentes edades de corte, ellos obtuvieron una digestibilidad de 49.78 % a la edad de 167 días de corte, ellos atribuyen que a medida que la planta madura sus componentes celulares van incrementando y por tal motivo la digestibilidad se ve afectada, este valor es diferente a lo que se reporta en esta investigación con 65.61 %, donde la digestibilidad fue notoria a los 130 días de corte y se demuestra que la edad influye sobre la digestibilidad.

Vivas-Quila et al. (2019) evaluaron la digestibilidad *in vitro* a diferentes edades de corte del pasto Roxo. En su investigación reportan una digestibilidad del 60.1 % a la edad de 90 días. Este resultado es semejante a lo reportado en esta investigación, donde la diferencia fue la edad de corte en la que el pasto fue evaluado.

Medrano-Escobar et al. (2024) evaluaron la digestibilidad del CT-115 cosechado a 90 días de rebrote durante el periodo de sequía, determinando un valor de 65.56 %. Este resultado es similar a lo reportado en esta investigación, sin dejar de resaltar que en esta investigación las evaluaciones fueron a 130 días de rebrote.

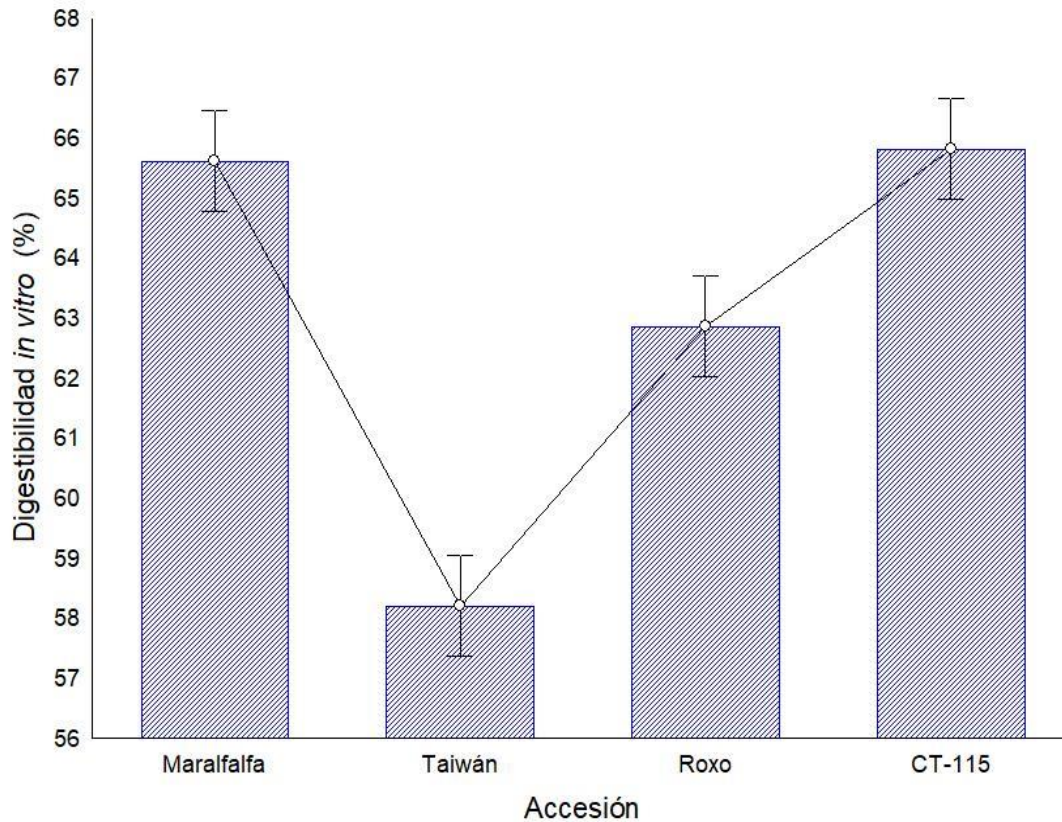


Figura 11. Porcentaje de digestibilidad de los pastos.

Proteína Cruda

Los valores calculados sobre el contenido de proteína cruda de las accesiones demostraron diferencia estadística ($p < 0.05$). El valor más bajo de PC fue para el pasto Roxo con un 6.22 %, mientras que el valor más alto fue para la accesión Taiwán con el 10.41 %. Maralfalfa logró un 7.91 % y CT-115 7.47 %. Entre estas dos accesiones no hubo diferencia estadística, sin embargo, entre Roxo y Taiwán la diferencia fue estadísticamente relevante ($p < 0.05$) (Tabla. 2).

Ventura-Ríos et al. (2022) evaluaron las características agronómicas del pasto Taiwán a diferentes frecuencias de corte, ellos reportaron un contenido de proteína cruda de 10.5% a los 30 días de corte. Este resultado es similar a lo que se encontrado en esta investigación, donde la única diferencia es la edad a los 130 días y las condiciones en las que se desarrolló el pasto.

Maldonado-Méndez et al. (2024) evaluaron la calidad nutricional del pasto Maralfalfa en diferentes edades de corte. A 96 días de rebrote reportaron un valor de PC de 7.16 %,

este valor es cercano a lo que se reporta en esta investigación, ellos argumentan conforme la planta madura disminuye la proteína cruda. de Dios-León et al. (2022) reportaron un contenido de proteína cruda en el pasto CT-115 a diferentes edades de corte en tres épocas del año (Seca, Lluvias y Nortes), donde a los 90 días el valor de PC fue de 7.1 %, este valor es similar a lo reportado en esta investigación, ellos argumentan que la edad de la planta tiene un efecto en la disminución la proteína cruda. Vivas-Quila et al. (2019) en una investigación utilizaron el pasto Roxo con diferentes edades de rebrote, a la edad de 90 días se acumuló el 7.2 % de PC, este resultado es algo similar a lo que se reporta en esta investigación, y se demuestra que conforme avanza la edad de la planta el contenido de proteína cruda tiende a disminuir.

Lignina

La lignina forma parte de la pared celular, se encuentra en los tejidos vasculares de las plantas, esta se encarga de darle soporte y rigidez (Maceda et al., 2021). La determinación de lignina sirve para predecir la digestibilidad. Las gramíneas contienen lignina, y esta no es digerible (Segura-S et al., 2007). A medida que la planta va madurando la lignina aumenta sus concentraciones, y esta tiene un efecto de forma negativa sobre la digestibilidad (Moore-J & Hans-Joachim, 2001).

En esta investigación se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) entre las accesiones evaluadas. Maralfalfa obtuvo el menor contenido de lignina (9.29 %). No hubo diferencia estadística ($p > 0.05$) entre Taiwán (11.22 %), Roxo (10.96 %) y CT-115 (10.78 %) (Tabla. 2).

Ventura-Ríos et al. (2022) evaluaron a diferentes frecuencias de corte el pasto Taiwán. A 120 días de rebrote el contenido de lignina fue de 19.8%. Este valor es superior a lo reportado en esta investigación, posiblemente influyo las características del desarrollo del pasto, además ellos argumentan que a medida que aumentaron las edades de corte se incrementó la lignina. Ledea-Rodríguez et al. (2021) evaluaron el CT-115 en épocas de estación lluviosa a diferentes edades de corte, donde a los 120 días el pasto tuvo el 3.93% de lignina, posiblemente el resultado varia por la época en la que ellos evaluaron el pasto, en esta investigación el contenido de lignina fue mayor con 10.78% a los 130

días de corte. Ventura-Ríos et al. (2019) evaluaron el pasto Maralfalfa a cuatro edades de rebrote en un clima cálido subhúmedo, ellos reportaron un contenido de lignina del 4.4 % a una edad de 120 días, estos autores explican que la lignina incrementa conforme avanza la edad de la planta, este resultado es diferente a lo que se reporta en esta investigación donde el contenido de lignina fue elevado a los 130 días de corte.

Cenizas

En esta investigación se encontró diferencia estadística significativa, donde el mayor contenido de cenizas fue para la accesión CT-115 con un 10.40 %. el pasto Maralfalfa con un 8.95 %, Taiwán con un 9.20 % y Roxo con un 9.50 % de cenizas no presentaron diferencia estadística, pero estos resultados de estas accesiones si fueron diferentes con el pasto CT-115 (Tabla. 2).

Ventura-Ríos et al. (2022) evaluaron seis frecuencias de corte del pasto Taiwán donde a los 120 días acumulo un contenido de cenizas del 4.7 %, este valor es menor a lo reportado en esta investigación, posiblemente influyo el manejo y tomas de muestras del pasto. Vivas-Quila et al. (2019) reporto un contenido de cenizas de 14.8 % a una edad de 90 días en el pasto Roxo, este valor está muy por encima a lo reportado en esta investigación, y podría ser atribuido a la edad de cosecha de la planta. Maldonado-Quñones et al. (2021) evaluaron el pasto Maralfalfa a diferentes edades de corte, donde el contenido de cenizas fue de 10.7 % a la edad de 150 días, ellos atribuyen que a medida que la planta madura, el contenido de cenizas disminuye. Este valor es similar a lo reportado en esta investigación. Medrano-Escobar et al. (2024) reportaron un contenido de cenizas el pasto CT-115 a los 90 días la concentración de cenizas fue del 11.20 %, estos autores explican que conforme la planta va creciendo hay menor presencia de minerales. Este valor es diferente a lo obtenido en esta investigación, donde a medida que aumenta la edad del pasto las cenizas disminuyen.

Sílice

El sílice puede provenir del suelo pudiendo ser adsorbida por la planta, se encuentra en los rebrotes, hojas, tallos y raíces. Algunas gramíneas contienen sílice y disminuye su digestibilidad cuando el animal la consume en exceso (Laredo et al. 1990). En esta variable si existió diferencia estadística, donde la accesión CT-115 presento el valor más elevado (Tabla. 2). Se puede observar que el efecto de sílice no afecto la digestibilidad de los forrajes, siendo más notorio el contenido de lignina.

6.2 Composición de la pared Celular: FDN, FDA y Lignina de las mezclas de *Cenchrus purpureus* y leguminosas

En esta investigación en la mezcla de leguminosas con accesiones de *Cenchrus purpureus* a la edad de 130 días de corte, si hubo diferencia estadística entre las variables evaluadas (Tabla. 3) y (Figura. 14), se demostró que el menor contenido de FDN, FDA y lignina fue para la leguminosa *Leucaena* con 67.86 %, 46.51 % y 10.23 %. Para el caso de *Gliricidia* fue de 68.90 %, 48.60 % y 11.18 %, respectivamente. El tratamiento control presento los valores más altos respecto a estas variables.

Tabla 5. Fibra detergente neutra (FDN), Fibra detergente ácida (FDA), Digestibilidad, Proteína (PC), Lignina (Lig), Cenizas y Sílice de las mezclas de *Cenchrus purpureus* con leguminosas a la edad 130 días, en una proporción 80% pasto y 20 % leguminosa

Leguminosa	FDN (%)	FDA (%)	Digestibilidad (%)	PC (%)	Lig (%)	Cenizas (%)	Sílice (%)
Control	75.00 ^a	52.21 ^a	58.48 ^b	6.61 ^c	10.28 ^b	9.73 ^a	0.003 ^a
<i>G. sepium</i>	68.90 ^b	48.60 ^b	64.98 ^a	8.29 ^b	11.18 ^a	9.61 ^{ab}	0.002 ^a
<i>L. lucocephala</i>	67.86 ^b	46.51 ^c	65.89 ^a	9.11 ^a	10.23 ^b	9.19 ^b	0.002 ^a
EE	0.42	0.50	0.35	0.23	0.19	0.15	0.000

Medias por columna con distinta literal indican diferencia estadística ($p < 0.05$), EE: Error estándar.

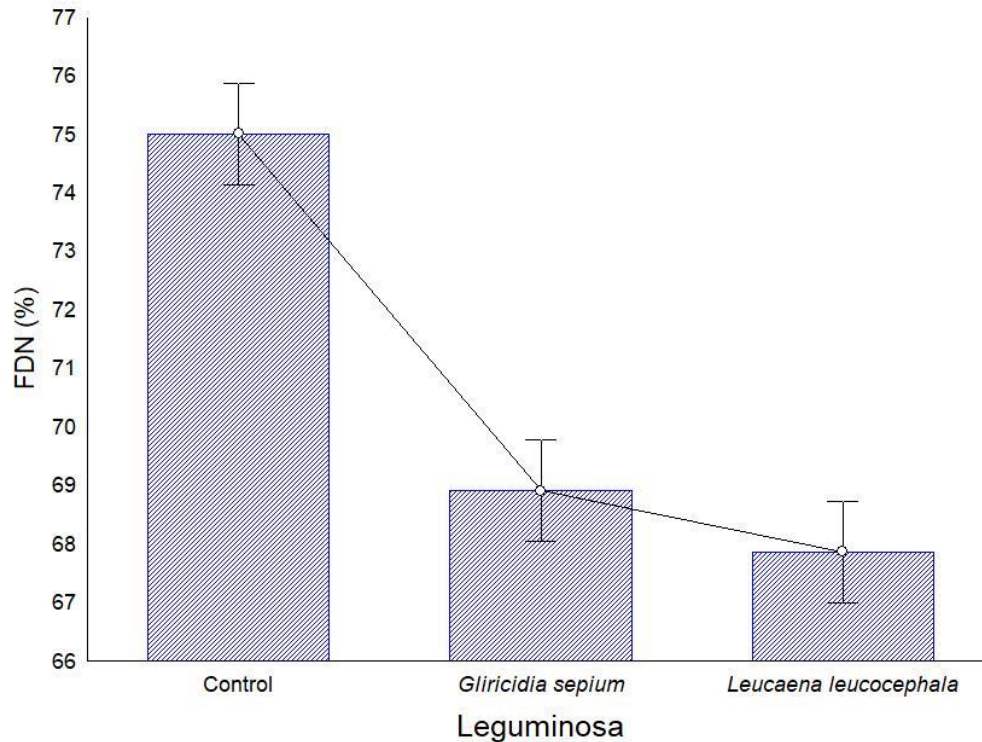


Figura 12. Porcentaje de fibra detergente neutra de las mezclas de *Cenchrus purpureus* con leguminosas.

Barahona-Rosales y Sánchez-Pinzón, (2005) explican que las gramíneas tropicales varían mucho en su composición y estructura, si tienen un alto contenido de FDN la digestibilidad se ve afectada, esto también se refleja por las concentraciones de lignina que influye como una barrera física afectando el contenido de FDN, dando como resultado una disminución en la digestibilidad. Ellos mencionan que, al hacer una modificación en la alimentación animal, como agregarle leguminosa a una gramínea tropical la digestibilidad aumenta entre el 40 a 70%, ya que las leguminosas contienen metabolitos secundarios que por su actividad con los microorganismos del rumen ayudan a disminuir la FDN, bajar los valores de FDA y aumentar la digestibilidad, esto se debe a que las leguminosas tienen menos contenido de fibra. Exponen que los rumiantes degradan del 40 a 50 % de la fibra detergente neutra de las leguminosas y del 60 a 70 % FDN en gramíneas.

Digestibilidad

En zonas cálidas se ha demostrado que cuando se realiza una asociación gramínea - leguminosa aumenta la digestibilidad, y al mismo tiempo presenta resultados en la disminución de los gases de efecto invernadero. Esto como resultado que las leguminosas contienen valores elevados de proteína. Lo más resaltante de las leguminosas es la presencia de metabolitos secundarios como los taninos condensados que tienen la capacidad de interaccionar con la actividad metanogénica dando como resultado mayor digestibilidad del alimento que se le proporciona al animal (Peña-Avelino et al., 2024).

Los datos obtenidos en esta investigación demuestran que entre los tratamientos evaluados (Tabla. 3), donde la *Gliricidia* con 64.98 % y *Leucaena* con 65.89 %, no fueron diferentes entre estas dos leguminosas, pero si hubo diferencia estadística con el tratamiento control que no contenía leguminosa, siendo mejor la digestibilidad con cualquiera de las dos leguminosas (Figura. 15). Esto posiblemente tuvo efecto por la presencia de metabolitos secundarios que al mezclarlo con el pasto aumento la digestibilidad frenando la actividad metanogénicas por parte de las arqueas.

Díaz-Echeverría et al. (2023) evaluaron el valor nutricional en dietas de *Panicum maximun* a una edad de 45 días de rebrote, con la adición del 30 % de follajes arbóreos con 45 días de edad, ellos mezclaron el forraje con la *Leucaena leucocephala* y evaluaron la digestibilidad *in vitro*, reportando que la digestibilidad fue en un 67.25% con la adición de *Leucaena*. Este valor es similar a lo reportado en esta investigación donde *Leucaena* tuvo un valor de 67.86 % de digestibilidad, y por su parte el tratamiento control un valor de 58.48 % ($p < 0.05$), la única diferencia es la edad de corte y el nivel de adición del porcentaje de leguminosa.

Canul-Solís et al. (2018) mencionan que la *Gliricidia sepium* al utilizarla en una mezcla del 30 % en la alimentación animal mejora la flora ruminal, favoreciendo el crecimiento adecuado de los microorganismos y mejora la digestibilidad debido a la presencia de metabolitos secundarios. Los resultados de esta investigación son similares con lo mencionado anteriormente, se observan en un 20 % de leguminosa mejora la digestibilidad de los pastos (control) figura 15.

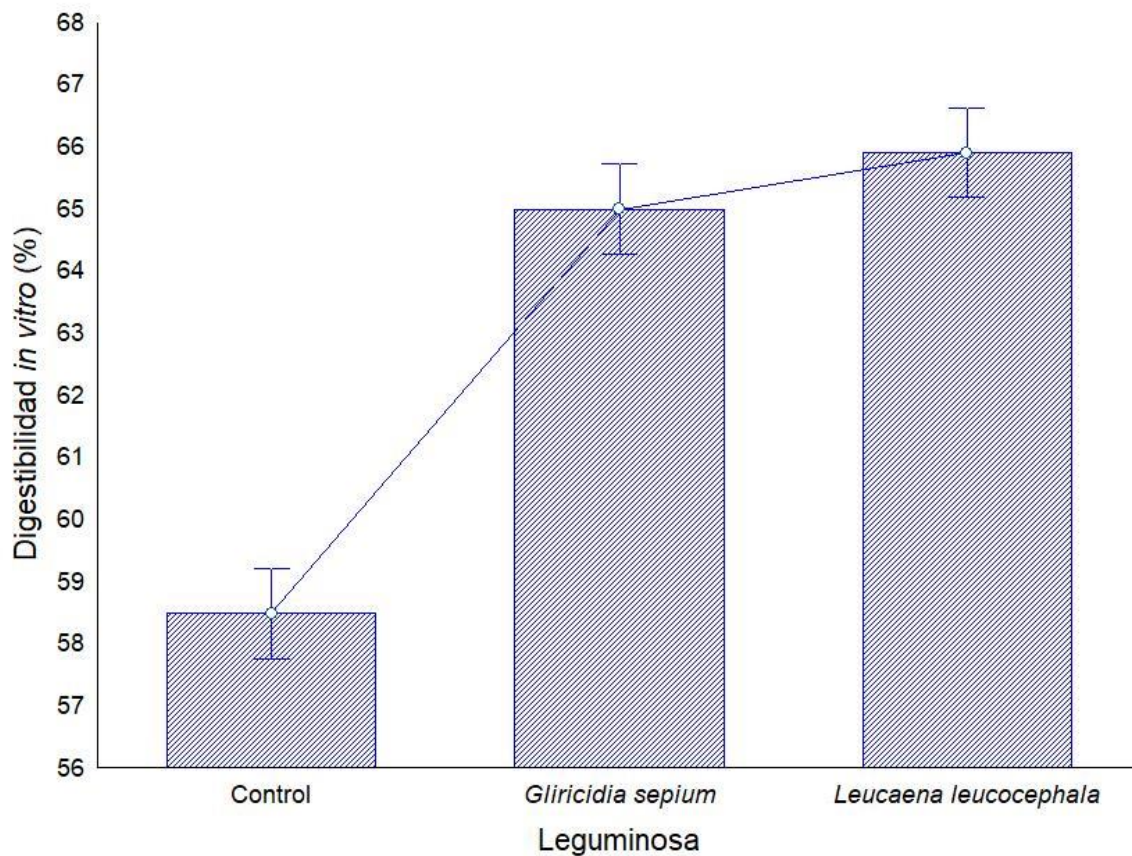


Figura 13. Porcentaje de digestibilidad de las mezclas de *Cenchrus purpureus* con *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*.

Proteína y Cenizas

En estas variables se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados (Tabla. 3). Donde el valor más bajo de la proteína fue para el tratamiento control, y el valor más elevado para la *Leucaena leucocephala* con 9.11 %. *Gliricidia* mostro un valor mayor que el tratamiento control. La variable ceniza presento diferencia estadística, donde el tratamiento control tuvo la mayor acumulación de cenizas, no se presentó diferencia estadística entre *Gliricidia* y control, pero *Leucaena* si fue diferente al control al mostrar el contenido de cenizas más bajo (Tabla. 3).

Canul-Solís et al. (2018) mencionan que las leguminosas de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* poseen valores de proteína superiores a los pastos tropicales, por lo que podría ser una estrategia en la dieta de los animales.

Díaz-Echeverría et al. (2023) Evaluaron el *Panicum maxicum* con la adición de distintos follajes arbóreos a la edad de 45 días de rebrote, ellos utilizaron la *Leucaena leucocephala* en un 30 %, reportaron un contenido de PC del 11.37 %. Este valor es más elevado a lo que se reporta en esta investigación, posiblemente el contenido de la *Leucaena* fue menor por el porcentaje de inclusión en un 20% al pasto y también se le atribuye a la edad del pasto a los 130 días de corte.

Molina-Botero et al. (2013) evaluaron gramíneas tropicales con pasto Guinea y pasto Ángleton con mezclas de *Leucaena* y *Gliricidia* en confinamiento y silvopastoril, realizaron mezclas en una proporción 80% pasto y 20% leguminosa. Ellos encontraron que las leguminosas presentaron los mayores contenidos de proteína y mejor digestibilidad. La *Gliricidia* tuvo un valor de proteína del 10.8% y la *Leucaena* acumulo el 14.3%. Mientras que el contenido de cenizas para *Gliricidia* fue de 10.0 % y *Leucaena* del 10.7 %. Estos resultados son diferentes a lo que se reporta en esta investigación posiblemente la diferencia se vea influenciada por la edad de corte a los 130 días.

Sílice

Laredo et al. (1990) analizaron muestras de gramíneas tropicales y evaluaron el efecto del contenido de sílice con la digestibilidad, ellos reportaron que el contenido de sílice al encontrarse en menor cantidad $\leq 2\%$ no afectó la digestibilidad de los pastos.

En esta investigación se reportan valores de sílice muy bajos y no presentaron diferencia estadística (Tabla. 3), estos valores no influyeron en la digestibilidad. Pude atribuirse a la edad del pasto y presencia de metabolitos secundarios de las leguminosas.

6.3 Producción de Dióxido de carbono (mL g^{-1} MS) y metano (mL g^{-1} MS) de las accesiones de *Cenchrus purpureus*

Los resultados de esta investigación para el análisis de CO_2 , entre la accesión Maralfalfa y Taiwán no hubo diferencia, pero estas dos accesiones si fueron diferentes entre Roxo y CT-115 con diferencia estadística significativa, Taiwán acumulo la menor cantidad de CO_2 . Para la producción de CH_4 hubo diferencia estadística, la accesión Taiwán presento diferencia estadística con la accesión Maralfalfa, donde Taiwán produjo la menor cantidad de metano (Tabla. 4).

Tabla 6. Representación del total de gases de CO_2 (mL g^{-1} MS) y metano (mL g^{-1} MS) de metano (CH_4) de las accesiones de *Cenchrus purpureus* a la edad de 130 días

Accesión	CO_2 mL g^{-1} MS	CH_4 mL g^{-1} MS
Maralfalfa	12.52905 ^b	7.05 ^a
Taiwán	10.58596 ^b	3.63 ^c
Roxo	19.08789 ^a	4.14 ^{bc}
CT115	19.97177 ^a	6.16 ^{ab}
EE	0.57	0.57

Medias por columna con distinta literal indican diferencia estadística ($p < 0.05$). CO_2 = Dióxido de carbono, CH_4 = Metano, mL= mililitros, MS= materia seca.

Rivas-Martínez et al., (2023) evaluaron gramíneas templadas y tropicales. Las praderas donde estaban sembrados los pastos tenían 4 años de establecimiento, las muestras se recolectaron a los 35 y 45 días de rebrote, ellos estimaron la producción de dióxido de carbono (mL) y de metano (mL) en la fermentación ruminal a las 72 horas. Una de las gramíneas analizadas fue el *Pennisetum purpureum* donde produjo 82.90 mL de CH₄ y 174.66 mL de CO₂. Ellos reportaron que la producción de gases fue mayor en las gramíneas tropicales, haciendo mención que posiblemente ese comportamiento se debió al contenido de FDN promedio de las gramíneas tropicales, relacionando el aumento de las paredes celulares con la producción de metano. Estos resultados son mayores a lo reportado en esta investigación.

Camacho-Escobar et al., (2020b) evaluaron los siguientes pastos tropicales, *Cynodon nlemfuencies* (26 días), Taiwán morado (45 días), Maralfalfa (40 días), *Andropogon gayanus* (35 días) y *Panicum maximum* (35 días) en el estado de Oaxaca cosechados a diferentes días de rebrote. Analizaron la producción de metano y de dióxido de carbono, donde la menor producción de metano fue para el Taiwán morado (45 días de corte) con el 47.66 % y Maralfalfa (40 días de corte) obtuvo el valor de 35.96 %, mientras que los pastos *Cynodon nlemfuencies* a la edad de 26 días de rebrote y *Panicum maximum* con una edad de 35 días de corte, tuvieron los valores más bajos de CO₂. Los datos de esa investigación están muy altos a lo reportado en esta investigación. Posiblemente influye la edad de corte.

6.4 Producción de dióxido de carbono (mL g^{-1} MS) y metano (mL g^{-1} MS) de las mezclas de accesiones de *Cenchrus purpureus* con leguminosas.

Los resultados de esta investigación demuestran que no hubo diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre las mezclas de pastos con leguminosas (Tabla. 5).

Tabla 7. Representación del total de gases de CO_2 mL g^{-1} MS y mL g^{-1} MS de metano (CH_4) de las mezclas de los pastos de *Cenchrus purpureus* a los 130 días de edad, en una proporción 80 % pasto y 20 % leguminosa

Leguminosas	CO_2 (mL g^{-1} MS)	CH_4 (mL g^{-1} MS)
Control	14.75653 ^a	5.36 ^a
<i>Gliricidia sepium</i>	15.89498 ^a	4.98 ^a
<i>Leucaena leucocephala</i>	15.97951 ^a	5.39 ^a
EE	0.49	0.49

Medias por columna con distinta literal indican diferencia estadística ($p > 0.05$). CO_2 = Dióxido de carbono, CH_4 = Metano, mL= mililitros, MS= materia seca.

Holguín et al., (2020) evaluaron mezclas ensiladas de *Pennisetum purpureum* al agregarle *Tithonia diversifolia* y la adición de un inóculo de *Lactobacillus paracasei* y uno comercial, el pasto fue cosechado a los 75 días de edad, realizando las mezclas de los microsilos y almacenándolas durante 90 días. Ellos reportaron que la menor producción de metano fue para mezcla de Pasto con *Tithonia diversifolia* en una proporción de 67:33 %. Siendo el tratamiento testigo que presentó una acumulación elevada de metano. Ellos mencionan que la disminución posiblemente fue por la presencia de metabolitos secundarios, así como también el contenido de la FDN de las mezclas y argumentan que al existir una menor degradación de la fibra habrá menor producción de metano por unidad de proteína comestible.

Los datos se asemejan lo que menciona Holguín et al., (2020) donde numéricamente se puede observar que la menor producción de metano varía un poco para el caso de *Gliricidia sepium*, pero aun así no hubo diferencia estadística.

Ávila-Serrano et al., (2020) evaluaron el efecto de la adición de *Moringa oleífera*, *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* en pasto *Cynodon nlenfuemsis*, en diferentes proporciones. Se midió la producción de metano y CO₂, ellos encontraron que al adicionarle el 45 % de *Leucaena* al pasto se redujo la producción de estos gases, a las 72 horas se acumuló el 23.97 mL gms⁻¹ de CH₄ y de CO₂ 163.13 mL gms⁻¹, ellos atribuyen que la leguminosa tiene la presencia de metabolitos secundarios y eso causo algún efecto sobre las poblaciones microbianas. Los datos son diferentes a lo que se reporta en esta investigación, posiblemente sea por el nivel de inclusión de las leguminosas.

Ley-de Coss et al., (2024) evaluaron las características químicas y fermentativas en mezclas de pasto Estrella (cosechado a 45 días) con diferentes proporciones de *Guazuma ulmifolia*, estimaron la producción de metano *in vitro*, con distintos tiempos de incubación. Ellos reportaron una producción de metano a las 72 horas con 169.3 mL/gms⁻¹ donde la menor producción de metano fue a las 96 horas con 31.2 mL gms⁻¹, ellos reportan que la inclusión de *Guazuma ulmifolia* reduce considerablemente el CH₄, también lo atribuyen la presencia de metabolitos secundarios causando un algún posible efecto en la mitigación de metano. Estos resultados son totalmente diferentes a lo que se reporta en esta investigación.

7. Conclusiones

Los valores obtenidos en esta investigación demuestran que la adición de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* mezcladas en pastos de *Cenchrus purpureus* en cierto porcentaje, tiene efecto sobre la digestibilidad, debido a la baja concentración de la FDN. Pero al mismo tiempo tienen algún impacto sobre la mitigación de gases de efecto invernadero, porque en las leguminosas al tener presencia de metabolitos secundarios, como los taninos condensados, estos interactúan con los microorganismos del rumen frenando la actividad metanogénica.

8. Recomendaciones

Es importante seguir evaluando como influye la digestibilidad y producción de gases en los pastos de *Cenchrus purpureus* con la mezcla de leguminosas, con inclusión de porcentajes más altos específicamente en zonas tropicales.

9. Literatura citada

- Álvarez-Vázquez, P., Mendoza-Pedroza, S. I., Cadena-Villegas, S., Calzada-Marín, J. M., Ortega-Jiménez, E., Vaquera-Huerta, H., y Rivas-Jacobo, M. A. (2021). Cambios en el rendimiento y composición química del pasto Maralfalfa (*Cenchrus sp*) a diferente edad. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44 (4-A), 729-736.
- Aragadvay-Yungán, R., G. (2019). Consumo voluntario de forrajes ricos en compuestos secundarios: efecto sobre la producción de metano entérico, fermentación ruminal y síntesis de proteína microbiana en ovinos, [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].
- Araiza-Ponce, K., Murillo-Ortiz, M., Herrera-Torres, E., Valencia-Vázquez, R., Carrete-Carreón, F., y Pámanes-Carrasco, G. (2020). *Leucaena leucocephala* y *Opuntia ficus-indica* reducen la producción de metano *in vitro*. *Abanico veterinario*, 10 (1), 1-13.
- Araiza-Rosales, E. E., Pámanes-Carrasco, G. A., Sánchez-Arroyo, J. F., Herrera-Torres, E., Rosales-Castro, M., y Carrete-Carreón, F. O. (2022). Caracterización nutricional y producción de gas de especies vegetales con potencial alimenticio para la alimentación de rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*, 27(2)
- Araujo-Febres, O., y Vergara-López, J. (2007). Propiedades físicas de rumen y químicas del rumen. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15 (1), 133-140.
- Arias-Islas, E., Morales-Barrera, J., Prado-Rebolledo, O., y García-Casillas, A. (2020). Metabolismo en rumiantes y su asociación con analitos bioquímicos sanguíneos. *Abanico veterinario*, 10.
- Arroyo, M., y Ramírez-Monroy, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Anales de Química de la RSEQ*, 116(2), 81-81.
- Ávila-Serrano, N. Y., López-Garrido, S. J., Galicia-Jiménez, M. M., González-Crespo, G. D. J., y Camacho-Escobar, M. A. (2020). Efecto de la incorporación de arbóreas a dietas de *Cynodon nlemfuensis* durante la fermentación ruminal *in vitro*. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 403-412.

- Barahona-Rosales, R., y Sánchez-Pinzón, S., (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista CORPOICA*, 6 (1), 70-82.
- Briand, E. L., y Vetere, V. (2022). Estructura y geometría molecular. Introducción a la química: curso con estrategias alternativas para enseñanza de la química CEAEQ (PP.63-83). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Byeng-Ryel, M., Lee, S., Jung, H., Miller, D. N., & Chen, R. (2022). Enteric Methane Emissions and Animal Performance in Dairy and Beef Cattle Production: Strategies, Opportunities, and Impact of Reducing Emissions. *Animals*, 12 (8), 948. <https://doi.org/10.3390/ani12080948>
- Camacho-Escobar, M, A., Ramos-Ramos, D., A., Ávila-Serrano, N., Y., Sánchez-Bernal., E., I., y López-Garrido, S., J. (2020a). Las defensas Fisico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*, 38 (2). 443-453.
- Camacho-Escobar, M. A., Galicia-Jiménez, M. M., Sánchez-Bernal, E. I., Ávila-Serrano, N. Y., y López-Garrido, S. J. (2020b). Producción de metano y bióxido de carbono *in vitro* de pastos tropicales de la costa de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 38 (2), 425-434.
- Canul-Solís, J., Alvarado-Canché, C., Castillo-Sánchez, L., Sandoval-Gío, J., Alayón-Gamboa, J., Piñeiro-Vázquez, A., Chay-Canul, A., Casanova-Lugo, F., y Ku-vera, J. C. (2018). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. Una especie arbórea multipropósito para la sustentabilidad de los agroecosistemas tropicales. *Agro Productividad*, 11 (10), 195-200.
- Cardona-Iglesias, J. L., Urbano-Estrada, M. F., Guatusmal-Gelpud, C., Ríos-Peña, L. M., y Castro-Rincón, E. (2021). Producción de metano *in vitro* en recursos forrajeros del trópico altoandino de Nariño. *Pastos y Forrajes*, 44.
- Carro, M. D., Evan, T. D., y Gonzalez Cano, J. (2018). Emisiones de metano en los animales rumiantes: influencia de la dieta. *Albétar*, 220, 32-35.

- Cartaya, O. y Reynaldo. I. (2001). Reseña bibliográfica flavonoides: características químicas y aplicaciones. *Cultivos tropicales*, 22 (2), 5-14.
- Castaño-Jiménez, G. A., Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., y Angulo-Arizala, J. (2023). Revisión de la calidad nutricional de botón de oro y de afrecho de yuca para la producción de ensilajes en ganadería de leche. *Veterinaria México OA*, 10. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2023>
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, 13 (1), 1-20. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>
- de Dios-León, G. E., Ramos-Juárez, J. A., Izquierdo-Reyes, F., Joaquín-Torres, B. M., y Meléndez-Nava, F. (2022). Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13 (4), 1055-1066.
- Díaz-Echeverría, V. F., Sánchez Ramos, A., Albores-Moreno, S., Lara Pérez, L. A., Valencia-Salazar, S. S., Ku-Vera, J. C., y Alayon-Gamboa, J. A. (2023). Valoración nutricional y fermentación in vitro de mezclas de follaje de árboles con harina de yuca en dietas para borregos. *Acta universitaria*, 33.
- Gómez Rosales, S., Ángeles, M. D. L., Romano Muñoz, J. L., y Ruíz Corral, J. A. (2020). Estimación de la producción de metano entérico en ranchos de producción familiar de leche bovina en el sur del estado de Querétaro, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 18-33.
- Gómez, M. y Villicaña-Villa, A. D. (2024). El sector agropecuario en México ante el cambio climático. *ITSÍ ECHERI Revista de Divulgación en Ciencias Agroalimentarias y del Desarrollo Económico Rural*, II (4), 17-25. <https://doi.org/10.33110/itsiecheri.v2i4>
- Granados-Niño, J. A., Reta-Sánchez, D. G., Santana, O. I., Reyes-González, A., Ochoa-Martínez, E., Díaz, F., y Sánchez-Duarte, J. I. (2021). Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del

- ensilaje. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(3), 958-968. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724>
- Guerra-Medina, C. E., Ley- de Coss, A., Reyes-Gutiérrez, J. A., Avendaño-Arrazate, C. H., Pérez-Vicente, R., y Montañez-Valdez, O. D. (2021). Growth of *Pennisetum purpureum* cv. Taiwan with different sources of fertilization in bovine grazing. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 8, (2), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a8n11.2859>
- Holguín, V., A., Cuchillo-Hilario, M., Mazabel, J., Quintero, S., y Mora-Delgado, J. (2020). Efecto de la mezcla ensilada de *Pennisetum purpureum* y *Thithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y su emisión de metano en el sistema RUSITEC. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11 (1), 19-37. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4740>
- Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). *Compendio de información geográfica municipal de Tantoyuca Veracruz de Ignacio de la Llave*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30155.pdf
- Jaurena, G, Juliarena, M, P., y Errecart, P. M. (2019). Causas y determinantes de las emisiones de gases de efecto invernadero en ganadería. *Revista Argentina de Produccion Animal*, 39(2), 43-60.
- Kumar-Choudry, P., Mohamed-Salem, A, Z., Jena, R., Kumar, S., Singh, R., & Kumar-Puniya, R. (2015). Rumen microbiology: From evolution to revolution (1st ed.). Springer.
- Ku-Vera, J. C. (2019). Mitigación de las emisiones de metano entérico en rumiantes alimentados con plantas que contienen metabolitos secundarios. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6, 44-55.
- Ku-Vera, J. C., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., Gómez-Bravo, C, A., Aguilar-Pérez, C F., & Solorio-Sánchez, F., J. (2020). Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in

- ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 584. 1-14.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00584>
- Laredo, A., M., Anzola, H., J y Cuesta, A. (1990). Efecto del contenido de sílice en la digestibilidad de la materia seca de gramíneas tropicales. *Pasturas tropicales*, 12 (3), 7-10.
- Ledeá-Rodríguez, J., L., O-León, O., L., 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 (52), 1-13.
- Ley-de Coss, A., Alonso-Bran, R., A., Morales-Aguilar, J., Guerra-Medina, C., E., Chávez-Espinoza, M., y Montañez-Valdez, O., D. (2024). Características químicas y fermentativas *in vitro* de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst y *Guazuma ulmifolia* Lam. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11 (4), 1-12.
<https://era.ujat.mx/index.php/rera/issue/view/102>
- Liu, K., Zhang, Y., Yu, Z., Xu, Q., Zhen, N., Zhao, S., Huang, G., & Wang, J. (2021). Ruminant microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Animal nutrition*, 7 (1), 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001>
- López-Garrido, S. J. L., Ramos-Ramos, D. A., Jiménez, M. M. G., Escobar, M. A. C., Serrano, N. Y. A., y Bribiesca, J. E. R. (2021). Evaluación química y emisión de gas *in-vitro* en ensilados mixtos de *King Grass* y *Clitoria-ternatea*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8 (2), 23.
- López-Herrera, M., Arias-Gamboa, M., Alpízar-Naranjo., y Castillo-Umaña, M. (2021). Calidad de fibra de metano en ensilados de leguminosas con fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*, 15 (2). 1-24.
<https://doi.org/10.15517/nat.v15i2>
- López-Reyes, N., Ábrego-García, A., y Poggi-Varaldo, H. (2022). Mecanismos de inhibición de la metanogénesis con Lovastatina y análisis de la expresión génica.

Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 38 (Ambiente y Bioenergía), 58-67, <https://doi.org/10.20937/RICA.54357>

- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Trejo, C., y Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27 (2), 1-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Makkar Harinder, P. S., Siddhuraju. P., y Becker. K. (2007c). Plant Secondary Metabolites. Walker. M. J. (1) In *Methods in Molecular Biology* (PP.67-81). Humana Press.
- Makkar Harinder, P. S., Siddhuraju. P., y Becker. K. (2007d). Plant Secondary Metabolites. Walker. M. J. (1) In *Methods in Molecular Biology* (PP.93-100). Humana Press.
- Maldonado-Méndez, J, de J., Gálvez-Marroquín, L, A., Guerra-Medina, C, E., Basurto-Gutiérrez, R., Escobar-España, J, C., & Monterrosa- del Toro, A. (2024). Yiel and nutriotional value of *Cenchrus purpureus* vc Maralfalfa grass. *Agro productividad*, 17 (7), 35-42.
- Maldonado-Quiñones, H., Carrete-Carreón, F. O., Reyes-Estrada, O., Sánchez-Arroyo, J. F., Murillo-Ortiz, M., y Araiza-Rosales, E. E. (2021). Rendimiento y valor nutricional del pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp.*) a diferentes edades. *Revista fitotecnica mexicana*, 44 (2), 143-149.
- Martínez-Muñoz, D. S., Rivera-Cerón, F., Palacios-Solórzano, I., Ramírez-Martínez, B. A., Molina-Aguilar, C., y Moguel, B. B. (2022). Metagenómica y metatranscriptómica para mitigar las emisiones de metano por animales rumiantes. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.430>
- Medina-Valtierra, J. M. (2010). La dieta del dióxido de carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53.
- Medrano-Escobar, A, R., Martínez-Benegas, C, C., Martinez-Aguilar, A., Verdecia-Acosta, D, M., y Herrera, S, R. (2024). Calidad nutritiva de *Cenchrus purpureus*

- (Schumach.) Morrone cv. Cuba T-115 en condiciones edafoclimáticas de Zamorano, Honduras. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 58, 1-10. <https://cu-id.com/1996/v58e03>
- Molina-Botero, I, C., Manuel-Cantet, J., Montoya, S., Correa-Londoño, G, A., y Barahona-Rosales, R. (2013). Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8 (2), 15-31.
- Moore-J. K., & Hans-Joachim, G., J. (2001). Lignin and fiber digestion. *Rangeland Ecology & Management/ Journal of Range Management Archives*, 54 (4), 420-430. <https://doi.org/10.2307/4003113>
- 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>
- Mueller-Harvey, I. (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of and Agriculture*, 86 (13), 2010-2037.
- Núñez-Ramos, P. A., García-Lamgombra, G., Caridad del Rosario, J. y Asencio-Cuello, V. J. (2021). Mediciones de óxido nitroso (N₂O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinamericana* 39:1-12. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>
- Ortega-Cabello, L., Cruz-Monterrosa, R.G., Martínez-Casares, R. M., Valencia-Ledezma, O. E., López-Luna, A., Velázquez-Luna, R. G., y Ramírez-Lubianos, C. (2018). Uso de flavonoides como ingrediente activo en alimentos funcionales. *Agroproductividad*, 11 (11), 121-127. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i11.1296>
- Peña-Avelino, L. Y., Alva-Perez, J., Rosales-Martínez, G. N., Hern, S., y Ceballos-Olvera, I. (2024). Estrategias de nutrición y alimentación para reducir las emisiones de

- metano en rumiantes bajo sistemas pastoriles: Una revisión. *Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, 60-73. <https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.18>
- Pérez-Can, G. E., Tzec-Gamboa, M., Albores-Moreno, S., Sanginés-García, J., Aguilar-Urquizo, E., Chay-Canul, A., Canul-Solis, J., Muñoz-Gonzalez, J., Diaz-Echeverria, V., y Piñero-Vázquez, A. T. (2020). Degradabilidad y producción de metano *in vitro* del follaje de árboles y arbustos con potencial en la nutrición de rumiantes. *Acta Universitaria*, 30. e2840. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2840>
- Ramos-Morales., E. y Yáñez-Ruiz., D., R. (2022). Microbiota ruminal e implicaciones ambientales. *An Microbiota Próbóticos Prebióticos*, 3 (2), 95-98.
- Rivas-Martínez, M. I., Cobos-Peralta, M. A., Ley-de Coss, A., Bárcena-Gama, J. R., y González-Muñoz, S. S. (2023). Producción de metano *in vitro* y características fermentativas de gramíneas forrajeras templadas y tropicales. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(1). <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3393>
- Rodríguez, M. G., Pizzani, P., Martino, G., Ojeda, L. E. O., Portillo, R. A. R., y Machado, N. D. L. C. N. (2022). Efecto de la lisozima sobre la emisión *in vitro* de CO₂ y pérdidas energéticas de CH₄ en bovinos. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15 (1), 49-55.
- Sandí, D. J. B., Jiménez, L. N., Molina, V. P., Ureña, F. Q., y Gutiérrez, J. J. R. (2020). Metanogénesis microbiana en animales poligástricos. *Nutrición animal tropical*, 14 (1), 36-49. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i1>
- Sandoval-Pelcastre, A. A., Ramírez-Mella, M., Rodríguez-Ávila, N. L., y Candelaria-Martínez, B. (2020). Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes [tropical trees and shrubs with potential to reduce the production of methane in ruminants]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23 (33), 1-16.
- Segura-S, F., Echeverri-F., R., Patiño-L, A., C., y Mejía-G. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de los

- forrajes y alimentos para animales. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 14 (1), 72-81.
- 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>
- Sosa de Pro, E. (1979). Manual de Procedimientos Analíticos para alimentos de Consumo Animal. Chapingo México.
- Van Soest. P. J. (1982). Nutritional Ecology of Ruminant. O and B. Corvalis, OR, EEUU. 375 pp.
- Vázquez-Carrillo, M. F., Ku-Vera, J. C., González-Ronquillo, M., Castillo-Gallegos, E., Kebreab, E., y Castelán-Ortega, O. A. (2020). Emisiones de metano por fermentación entérica de la ganadería bovina de México: la importancia de contar con inventarios nacionales precisos y de estrategias viables de mitigación. *Elementos para Políticas Públicas*, 4 (1), 13-26.
- Vélez-Terranova, M., Campos Gaona, R., y Sánchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metalogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 483-499.
- Ventura-Ríos, J., Honorato-Salazar, J. A., Apolinar-Hidalgo, A., Barrera-Martínez, I., Aburto-Anell, J. A., & Vaquera-Huerta, H. (2022). Agronomic characterization of Taiwan grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] and evaluation of its potential to produce bioethanol in the warm sub-humid climate of Mexico. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 10 (1), 22-31. [http://doi.org/10.17138/TGFT\(10\)22-31](http://doi.org/10.17138/TGFT(10)22-31)
- Ventura-Ríos, J., Reyes-Vázquez, I., García-Salas, A., Muñoz-García, C., Muro-Reyes, A., Maldonado-Peralta, M, de los Á., Rojas-García, A, R., 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, 1-11. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2204>

Villa-Nueva, C., Moscoso, C., Detlefsen, G., Solis, J., y López, J. (2023). Contribución de la cobertura arbórea a la compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero de fincas productoras de leche en el sur oriente de Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(1), 93-102.

Vivas-Quila, N, J., Criollo-Dorado, M, Z., y Cedeño-Gómez, M, C. (2019). Frecuencia de corte de pasto elefante *Pennisetum purpureum Schumac.* *Biotecnología en el Sector agropecuario y Agroindustrial*, 17 (1), 45-55. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1203>

10. Anexos

Análisis de Taninos condensados y Proteína Cruda (PC) de las leguminosas.

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL



Fecha Recepción: 11 de diciembre de 2024
 Fecha Entrega: 13 de enero de 2025
 Solicitante: Jhonatan Hernández

CODIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	ANALISIS		
		Fenoles Totales (%)	Taninos Totales (%)	Taninos Condensados (%)
683	Gliricidia	NS	0.07	11.40
684	Leucaena	NS	2.25	23.05

Notas:
 Los Resultados están reportados en BASE SECA (*)
ND = No detectable. La muestra fue analizada pero no se detectó el elemento.
NS = No solicitado. La muestra no fue analizada para el elemento.




Dr. Carlos A. Sandoval Castro
 Responsable LNA

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL



Fecha Recepción: 22 de enero de 2025
 Fecha Entrega: 6 de febrero de 2025
 Solicitante: Jhonatan Hernandez

CODIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	ANALISIS								
		MATERIA SECA (%)	PROTEINA CRUDA (%)	CENIZAS* (%)	FDN* (%)	FDA* (%)	LIGNINA* (%)	EXTRACTO ETereo* (%)	CALCIO* (%)	Fosforo* (%)
147	Gliricidia	NS	13.58	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
148	Leucaena	NS	21.68	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Notas:
 Los Resultados están reportados en BASE SECA (*)
ND = No detectable. La muestra fue analizada pero no se detectó el elemento.
NS = No solicitado. La muestra no fue analizada para el elemento.




Dr. Carlos A. Sandoval Castro
 Responsable LNA

Constancia de asistencia a un curso taller sobre los gases de efecto invernadero



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Secretaría de Educación Continua

Otorgan la presente



Constancia

a: **JHONATAN HERNÁNDEZ SAGAON**

quien participó como: **Asistente** en el curso taller internacional sobre:

“Gases de efecto invernadero en bovinos bajo pastoreo en el trópico: SF₆ y cámaras estáticas”

Impartido por esta Institución,
del 26 al 28 de junio de 2024,
con una duración de 18 horas 30 minutos.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 14 agosto 2024



Dr. Carlos G. Gutiérrez Aguilar
Director de
la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



Dr. Orbelín Soberanis Ramos
Secretario de Educación Continua,
FMVZ-UNAM

Estancia



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Chapingo, México.

DEPENDENCIA DE ZOOTECNIA
SECCIÓN NUTRICIÓN ANIMAL
NUMERO DEL OFICIO: 3NA/020/25
EXPEDIENTE:

ASUNTO:

Finalización de Estancia

07 de marzo de 2025

DR. OSCAR DEL ÁNGEL PIÑA
DIRECTOR GENERAL DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y SUPERIOR
DE TANTOYUCA
PRESENTE

Por este conducto se hace constar que el estudiante **JHONATAN HERNÁNDEZ SAGAÓN**, realizó una estancia de investigación del **14 de octubre de 2024 al 07 de marzo de 2025**, con la finalidad de realizar análisis químicos de mezclas de forrajes de corte con leguminosas como parte de su trabajo de investigación para obtener el grado de maestro en Producción Pecuaria Tropical.

El alumno **JHONATAN HERNÁNDEZ SAGAÓN**, estuvo bajo la asesoría del Dr. José Isidro Alejos de la Fuente, Dr. Eliseo Sosa Montes y M.C. Benito Bello Olivera, docentes investigadores de la UACH.

Sin más por el momento, reciba saludos cordiales.

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

Inglés

TOEFL ITP Score Report

Name of Institution: TEC DE MONTERREY LAGUNA	Student Number: 643
Name: HERNANDEZ, JHONATAN	Times Taken TOEFL: 1
DOB: 02 Oct 1999	Sex: M
Native Country: Mexico	Test Date: 05 Apr 2025
Native Language: SPA - Spanish	Form: TOEFL ITP Level 1
Scaled Scores:	
Listening Comprehension:	55 B2
Structure & Written Expression:	54 B2
Reading Comprehension:	53 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 • FB0324R150 • Printed in U.S.A.

I.N. 770462

NS = No Score
** = No CEFR

Copyright © 2012 by Educational Testing Service

Student's File Copy
Do Not Copy

Artículo publicado



Fibra detergente neutro, lignina y cenizas de dos accesiones de *Cenchrus purpureus*

Neutral detergent fiber, lignin and ash of two accessions of *Cenchrus purpureus*

Jhonatan Hernández Sagaón¹, Karla Lissette Silva-Martínez², Isidro Alejos de la Fuente³,
Erika Andrea Hernández², Armando Arrieta-González²

¹Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México. ²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México. ³Universidad Autónoma Chapingo, México.

NOTA SOBRE LOS AUTORES

Jhonatan Hernández Sagaón: jonhersag99@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-6855-2332>

Karla Lissette Silva-Martínez: karla.silva@itsta.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-2010-6123>

Isidro Alejos de la Fuente: jalejosd@chapingo.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-9894-3653>

Erika Andrea Hernández: erika.hernandez@itsta.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-3927-811X>

Armando Arrieta-González: armando.arrieta@itsta.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-7810-6743>

Esta investigación fue financiada con recursos de los autores.

Los autores no tienen ningún conflicto de interés al haber hecho esta investigación.

Remita cualquier duda sobre este artículo a Armando Arrieta-González.

Recibido: 15/01/2024
Aceptado: 29/06/2025
Publicado: 01/06/2025



Copyright © 2025 Jhonatan Hernández Sagaón, Karla Lissette Silva-Martínez, Isidro Alejos de la Fuente, Erika Andrea Hernández, Armando Arrieta-González. Este obra está protegida por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Artículo enviado

7/8/25, 11:57 p.m.

Yahoo Mail - Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia - Manuscript ID ABMVZ-2025-13674

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia - Manuscript ID ABMVZ-2025-13674

De: Secretaria ABMVZ (onbehalf@manuscriptcentral.com)

Para: eliseososa@yahoo.com.mx

CC: jonhersag99@gmail.com; armando.arrieta@itsta.edu.mx; karla.silva@itsta.edu.mx; erika.hernandez@itsta.edu.mx; contato.mariltonfilho@gmail.com; jalejosd@gmail.com; mbarrientos@uv.mx; eliseososa@yahoo.com.mx

Fecha: jueves, 7 de agosto de 2025, 04:37 p.m. GMT-6

07-Aug-2025

Dear Dr. Sosas Montes:

Your manuscript entitled "In vitro Gas Production by Maralfalfa and Taiwan Grasses in The Presence and Absence of Legumes" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.

Your manuscript ID is ABMVZ-2025-13674.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/abmvz-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/abmvz-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.

Sincerely,
Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia Editorial Office

Determinación de las variables de estudio, siguiendo la técnica de Sosa de Pro (1979).

Dióxido de carbono CO₂ *in vitro*

Material:

Sensor Vernier Or

Regla

Envase plástico con graduación mL

Procedimiento:

Para determinar esta variable se realizó junto con los tubos de digestibilidad *in vitro*. Donde en cada uno de los tapones se colocaba una jeringa de 100 mL, donde su principal función era captar el gas acumulado que producía cada tubo de digestibilidad. La primer medición se realizó a las 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs. Con una regla estándar se medía el volumen en cm para saber cuántos centímetros había subido el embolo de la de la jeringa y después se retiraba la jeringa del tapón del tubo de digestibilidad tapando el orificio de la jeringa para evitar que el gas se escapara, de manera rápida se introducía en un envase plástico graduado y se depositaba el gas acumulado de CO₂. Después de forma rápida se introducía el sensor Vernier Or para medir el dióxido de carbono. El sensor registraba las lectura en partes por millón (ppm) en un Software.



Figura 14. Medición de volumen de CO₂ (cm) con regla



Figura 15. Vernier Or cuantificando partes por millón (ppm)



Figura 16. Registro de datos de CO₂

Digestibilidad *in vitro*

Materiales:

Bascula analítica

0.2 g de muestra

Tubos de digestibilidad de 100 cm³ con sus taponos

Jeringas de 100 mL

20 cm³ de Saliva artificial de McDougal

5 cm³ de líquido ruminal licuado y filtrado

Incubadora Baño María

Termómetro

Regla estándar

Agua destilada hirviendo

Vaso Berzelius de 100 cm³

Pizeta

Gendarme

Mufla a 500 °C

Procedimiento:

- 1.- Se pesa la muestra y se agrega en el tubo de digestibilidad.
- 2.- Separar un tubo de digestibilidad que servirá de blanco donde solo contendrá saliva artificial de McDougal y líquido ruminal (No lleva muestra).
- 3.- Se agrega la saliva artificial y el líquido ruminal con la muestra (De forma cuidadosa y lo más rápido para no afectar a los microorganismos del rumen).

- 4.- Se colocan los tapones en los tubos de digestibilidad e introduciendo la aguja en los tapones junto con la jeringa de 100 cm³. (Esto se debe hacer con todas las muestras).
- 5.- Las muestras preparadas se deben de colocar en un baño María donde permanecerán ahí durante 72 hrs de incubación a una temperatura de 37 a 40 °C.
- 6.- Agitar los tubos de digestibilidad tres veces al día, para asemejar a los movimientos del rumen.
- 7.- A las 24, 48 y 72 horas, con una regla se debe de medir el volumen captado por la jeringa en cm.
- 8.- Después de las 72 horas se transfiere la muestra del tubo de digestibilidad y se deposita en un vaso Berzelius de 100 cm³, con agua destilada se limpian las paredes del tubo de digestibilidad procurando depositar toda la muestra en el vaso, y se le agrega 20 cm³ de solución detergente neutro.
- 9.- Los vasos Berzelius que contengan la muestra se colocan en la parrilla con termostato, y se toma el tiempo a partir de que empiece la ebullición, dejando hervir durante 60 minutos.
- 10.- La muestra del vaso Berzelius se deposita en un crisol Good con filtro de vidrio seco con peso constante.
- 11.- El crisol Googh que contenga la muestra se coloca en la bomba de vacío y con agua destilada hirviendo se empieza a enjugar hasta eliminar la espuma.
- 12.- Se lava el exterior del crisol con una pizeta.
- 13.- Se coloca dentro de una estufa a 105 °C durante toda la noche.
- 14.- Las muestras del crisol se colocan dentro de un desecador durante 30 minutos.
- 15.- Pesar los crisoles.
- 16.- Después se incineran los crisoles pesados en una mufla a 500 °C durante 2 hrs.

17.- Transcurrido las 2 horas se abre la mufla y se dejan los crisoles a temperatura ambiente durante 10 minutos, luego se introducen dentro de un desecador durante 30 minutos y por último se pesan.

Se aplica la siguiente fórmula:

Donde:

DIVMS=Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

g MSi= g de materia seca inicial

g MSn= g de materia seca no digerida

g MSb= g de materia seca del blanco

$$\% \text{DIVMS} = \frac{g \text{MSi} - (g \text{MSn} - \text{MSb})}{g \text{MSi}} \times 100$$



Figura 17. Agregando la muestra de las mezclas en los tubos de digestibilidad *in vitro*



Figura 18. Preparación tubos de digestibilidad *in vitro* con líquido ruminal y saliva artificial



Figura 19. Tubos de digestibilidad *in vitro* con las mezclas de pasto con leguminosa en un baño maría

Fibra Detergente Neutro (FDN) o Paredes celulares.

Materiales:

Bascula analítica

Vaso Berzelius de 100 cm³

Pesar 0.2 g de muestra

20 cm³ de solución de detergente neutro

Crisoles Gooch de porcelana con filtro secado a peso constante

Equipo para filtrar a vacío

Parrilla con termostato que fluya con agua corriente

Agitadores con gendarme

Agua destilada caliente

Estufa a 10.5 °C

Procedimiento:

1.- Pesar por diferencia alrededor de 0.2 gramos esta se deposita en el Vaso de 100 cm³.

2.- Adicionar 20 mL de solución de detergente neutro en el vaso que contiene la muestra.

Colocar el vaso con el contenido de muestra en la parrilla.

3.- Cuando la solución empiece a hervir, tomar el tiempo y reducir la temperatura para que la ebullición sea suave. Hervir durante 60 minutos a partir de la ebullición (el detergente produce gran cantidad de espuma por lo que debe vigilarse).

4.- Por otro lado pesar un crisol con filtro de vidrio previamente seco y registrar su peso.

5.- Filtrar con la bomba de vacío el crisol que contenga la muestra

- 6.- Lavar con agua caliente, enjuagando previamente el vaso hasta que deje de producir espuma.
- 7.- Lavar el exterior del crisol con agua destilada.
- 8.- Secar a 105 °C durante toda la noche o hasta peso constante.
- 9.- Enfriar en el desecador y pesar.

Se aplica la siguiente fórmula:

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

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



Figura 20. Determinación de fibra detergente neutro

Fibra Detergente Acida (FDA) y Lignina

Materiales:

Bascula analítica

Estufa a 105 °C

Vaso Berzelius de 100 cm³

Crisol de Gooch con filtro seco y pesado

20 cm³ de solución detergente acido

Agua destilada hirviendo

Pizeta

Gendarme

Equipo de bomba de vacío

Parrilla con termostato que fluya con agua corriente

Procedimiento:

- 1.- Pesar 2 g de muestra y depositarla en el vaso Berzelius de 100 cm³
- 2.- Al vaso que contenga la muestra se le adiciona 20 cm³ de solución detergente acida.
- 3.- Se coloca el vaso en la parrilla calentada, y al iniciar la ebullición se toma el tiempo durante 60 minutos hirviendo. (El detergente produce gran cantidad de espuma por lo que debe estar vigilado).
- 4.- Por otro lado se coloca un crisol Gooch con filtro de fibra de vidrio seco y pesado en la bomba de vacío.
- 5.- Se vacía la muestra del Vaso Berzelius en el crisol, y se limpian las paredes del vaso con agua destilada procurando de que no queden partículas en el vaso.
- 6.- El crisol se en juaga con agua destilada hirviendo hasta eliminar la espuma.

- 7.- Después de eliminar la espuma los crisoles que contienen la muestra se colocan dentro de una estufa a 105 °C durante toda la noche.
- 8.- Se sacan los crisoles de la estufa y se colocan dentro de un desecador durante 30 minutos.
- 9.- Se pesan.

Se aplica la siguiente fórmula:

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

Nota: En el residuo obtenido se determina la lignina.

Lignina

Materiales:

Vasos de precipitación de 150 mL

Crisoles de vidrio de poro grueso

Agitadores de vidrio

Termómetro

Equipo de filtración de vacío

Bandeja de Vidrio

Ácido sulfúrico (H₄SO₄) al 72 %

Varilla de vidrio

Procedimiento:

- 1.- Colocar el crisol que contiene el DFA de la muestra en el vaso de precipitados de 150 mL y este dentro de una bandeja con agua a una temperatura del de baño debe de ser de 20 a 22 °C.
- 2.- Adicionar al crisol suficiente ácido sulfúrico al 72 % cubriendo toda la muestra de FDA.
- 3.- Agitar con la varilla de vidrio a intervalos de 10 minutos.
- 4.- Mantener constante el volumen de ácido sulfúrico
- 5.- Transcurridos 30 minutos exactos después de la primera adición de H₄SO₄ se filtra en la bomba de vacío.

- 6.- Lavar con agua caliente hasta eliminar todo el ácido y lavar con una pizeta el exterior del crisol.
- 7.- Secar en una estufa a 105 °C durante toda la noche o hasta que mantenga peso constante.
- 8.- Se saca de la estufa y se pone a enfriar durante 30 minutos.
- 9.- Se pesa, y el residuo formado es sílice.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de lignina}_{BH} = \frac{g \text{ de lignina}}{g \text{ de muestra}} \times 100$$

Nota: Los gramos de lignina se obtienen restando el peso de crisol conteniendo lignina y sílice, el peso del crisol contiene sílice.

Determinación de Sílice:

Para poder realizar la determinación se tiene que tomar el residuo de la lignina. Se incinera el residuo a 500 °C, se deja enfriar y se pesa.

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

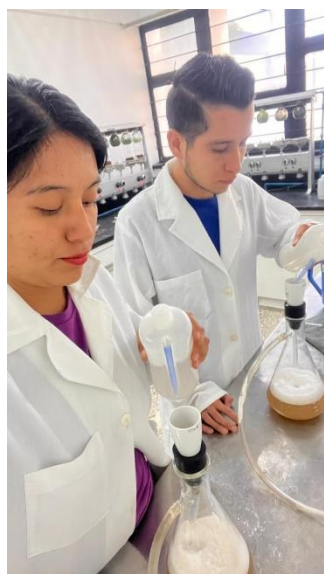


Figura 21. Determinación de fibra detergente acida



Figura 22. Determinación de lignina



Figura 23. Determinación de sílice

Cenizas

Materiales:

Bascula analítica

Crisoles de porcelana secos y limpios a peso constante

Triángulo de porcelana

Mechero

Desecador

Pinzas

Procedimiento:

- 1.- Pesar 1 g de muestra y vaciarla en el crisol de porcelana.
- 2.- El crisol que contiene la muestra se coloca en el mechero sobre el triángulo de porcelana y se preincinera hasta que desaparezca el humo.
- 3.- Se coloca en la mufla a 500 °C durante 2 hrs.
- 4.- Después de las 2 horas se abre la mufla y se deja a enfriar a temperatura ambiente durante 10 minutos, luego se introducen en el desecador durante 30 minutos.
- 5.- Se pesa.

Se aplica la siguiente fórmula:

Donde: BH* = Base húmeda

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

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

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



Figura 24. Determinación de cenizas

Proteína Cruda (PC)

Materiales:

Se pesa 1 g de muestra

Matraz Kjeldahl de 800 cm³

Mezcla Catalizadora de Proteína

12.5 mL de Ácido Sulfúrico Concentrado

Matraz Erlenmeyer de 250 cm³

32.5 ml de Ácido Bórico (H₃BO₃) al 4%

Indicador de Proteína (2 gotas de Indicador de PC)

130 ml de agua destilada (Dependiendo de las muestras a evaluar)

50 ml de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 28%

Perlas de ebullición

Ácido Clorhídrico (Tomando en cuenta la normalidad del reactivo)

130 mL de agua destilada

Procedimiento:

1.- Se pesa 0.5 g de muestra en un papel limpio que no haya tenido residuo de otra muestra, se introduce la muestra dentro del cuello del matraz, procurando que la muestra no se quede adherida en la paredes y cuidadosamente se deposita la muestra en el matraz Kjeldahl. Al matraz que contiene la muestra se le agrega primero una cucharada catalizadora y después 12.5 ml de Ácido Sulfúrico Concentrado (Vaciar de forma cuidadosa). Enseguida se pone a calentar en la parrilla del digestor durante 30 minutos (Se debe poner a funcionar el extractor). Después de que pasen los 30 minutos las muestras adquieren un color transparente verde-azulado (En algunas muestras el tiempo para adquirir el color transparente varia unas podrían tardar menos o más tiempo). Se apaga la parrilla dejando enfriar las muestras y se deja encendido el extractor para que

elimine los gases. Con una probeta se le agrega 130 mL de agua destilada al matraz que contiene las muestras esto con el fin de evitar que el residuo digerido se solidifique.

2.- Por otro lado en un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ se le agrega 32 cm³ de Ácido Bórico (H₃BO₃) al 4% y 2 gotas de indicador de proteína cruda, el matraz una vez preparado se coloca de bajo del refrigerante del destilador con el tubo colector ligeramente sumergido sin que tope el fondo del matraz.

3.- En otra probeta se le agrega 50 mL de Hidróxido de Sodio al 28 % (NaOH) esto se agrega de forma cuidadosa por la paredes del matraz Kjeldahl, porque si se agrega de forma rápida podría tener alguna reacción. Después de vaciar el NaOH se le agrega al mismo matraz perlas de ebullición un puñito con lo que se alcance agarrar con los dedos. Y enseguida se coloca el matraz en el refrigerante del destilador para que se empiece a enfriar de debe de tapar de forma adecuada la boca del matraz para que no tenga fugas.

4.- Una vez colocada las muestras en el refrigerante del destilador se debe de cuidar el matraz Erlenmeyer de 250 cm³ hasta que haya recolectado 125 cm³ de la muestra. En algunos casos el matraz Kjeldahl que contienen las perlas de ebullición empiezan a rebotar dentro del matraz se debe bajar por que el matraz se puede estrellar debido a los ligeros sacudimientos. Primero se debe bajar y después apagar para evitar que succione la muestra, esto aplica para ambos casos cuando el matraz haya recolectado los 125 cm³ o si empiezan a saltar las perlas de ebullición.

Nota: Para titulación se utiliza una bureta tomando en cuenta la graduación y en dado caso de que esta se encuentre sucia por algún otro residuo se debe de limpiar con Ácido Clorhídrico agregando por toda la pared de la bureta, hasta que llegue un poco menos de la mitad de su capacidad. Y el Ácido Clorhídrico se vacía en un lugar seguro para su desecho. Después para preparar la bureta para la titulación se vuelve a colocar Ácido Clorhídrico hasta que ocupe toda su capacidad, teniendo en cuenta que no se haya creado una burbuja de aire porque esta puede afectar en la medición. Si llega a tener una burbuja de aire se debe abrir la llave y eliminar la burbuja, después de que se haya eliminado la burbuja se vuelve a rellenar la bureta hasta su límite de medición.

5.- Después las muestras pasan por el proceso de titulación con el apoyo de la bureta (Debe estar limpia) se le agrega Ácido Clorhídrico tomando en cuenta la normalidad del reactivo.

6.- Se colocan las muestras del matraz Erlenmeyer con los 125 cm³ colectados y se empieza a titular moviendo ligeramente el matraz hasta que el color cambie a rosa violeta. Por último se cuentan los mL gastados de la bureta.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\% PC = \frac{V \times N \times 0.014 \times 6.25 \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Donde:

V = Volumen en mL

N = Normalidad en mmol / mL

0.014= mili equivalente del N en g/mmol

6.25 = Factor de conversión de g de N a g de proteína en g/g



Figura 25. Determinación de proteína cruda



Figura 26. Titulación de proteína cruda



Figura 27. Muestras ya tituladas de proteína cruda



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 DEL ESTADO DE VERACRUZ



FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS DE POSGRADO

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

C. Jhonatan Hernández Sagaón
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. Erika Andrea Hernández
VOCAL: Dr. Eliseo Sosa Montes
SUPLENTE: Dra. Karla Lissette Silva Martínez

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:

"Efecto de metabolitos secundarios sobre la actividad metanogénica de *Cenchrus purpureus*"

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

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



POR AMOR A
VERACRUZ

R02/0820

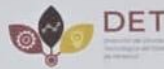
F-PG-03



GOBIERNO DEL ESTADO DE
VERACRUZ
2024 - 2030

SEV
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN DE VERACRUZ

SEMSyS
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR



Tantoyuca, Veracruz a 12 de agosto de 2025

Yo, Jhonatan Hernández Sagaón, alumno (a) de la carrera de Maestría en Producción Pecuaria Tropical, con número de control M233S0006, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: Efecto de metabolitos secundarios sobre la actividad metanogénica de *Cenchrus purpureus*, desarrollado en: Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, durante el periodo comprendido del 01 de octubre de 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.

Jhonatan Hernández Sagaón
Nombre y firma del(a) alumno(a)

Dr. Armando Arrieta González
Nombre y firma del asesor interno.

