

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**Rendimiento y Calidad Nutricional del Pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus*
(Schumach.) Morrone) en Respuesta a Distintas Frecuencias de Corte**

Por:

CRISTAL DÍAZ AGUILAR

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Rendimiento y Calidad Nutricional del Pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus*
(Schumach.) Morrone) en Respuesta a Distintas Frecuencias de Corte

Por:

CRISTAL DÍAZ AGUILAR

TESIS

Que somete a la consideración del H. jurado examinador como requisito para obtener
el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dr. Joel Ventura Ríos
Director


Dr. Adelaido Rafael Rojas Garcia
Co-Director


Dr. Fernando Ruiz Zarate
Asesor


M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México



Noviembre 2025

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

El presente trabajo de investigación titulado “**Rendimiento y Calidad Nutricional del Pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) en Respuesta a Distintas Frecuencias de Corte**” constituye una elaboración original del autor. No se han reproducido, copiado ni adaptado ideas, citas textuales, ilustraciones u otros contenidos provenientes de tesis, publicaciones académicas, libros, artículos o cualquier otro material (impreso o digital) sin señalar de manera precisa y adecuada su fuente o autoría correspondiente.

Sumado a esto, lo aquí expuesto puede ser verificado por el lector, quien debe tener conocimiento de que, en caso de detectarse algún tipo de plagio o la omisión del respeto a los derechos de autor, este documento será sujeto a las sanciones correspondientes impuestas por el comité editorial y/o a acciones legales pertinentes. Como consecuencia, el presente trabajo académico perderá toda validez, no podrá ser aprobado ni se permitirá su reenvío para evaluación.

Atentamente



Cristal Díaz Aguilar

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar hasta el día de hoy, por darme la fuerza para seguir con este proyecto académico y con mi vida. A él por guiarme siempre por buen camino e iluminar mis días grises.

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, mi ALMA TERRA MATER por mi formación académica, por todo lo bueno que me brindo, por acobijarme el tiempo que estuve lejos de mi familia y por ser mi segundo hogar.

Al Dr. Joel Ventura Ríos por brindarme la confianza de realizar este proyecto de investigación, por enseñarme, escucharme y apoyarme siempre, por ser un gran docente, un agradable ser humano y sobre todo un buen amigo.

Al Dr. Adelaido Rafael Rojas García, Dr. Fernando Ruíz Zarate, por el tiempo brindado, por el apoyo y colaboración dentro de la revisión del presente escrito.

A la M.C Camelia Cruz Rodríguez por su apoyo, por escucharme y aconsejarme cuando más lo necesite, por ser una gran amiga y una admirable mujer.

Al Dr. Juan Antonio Núñez Colima por ser mi tutor dentro de la universidad, por brindarme su tiempo en todo momento, por escucharme y guiarme siempre por buen camino.

Al Dr. José Antonio Hernández Herrera por ser un excelente docente y por su apoyo y comprensión.

Al Dr. Mario Alberto José de los Santos por apoyarme al principio de este camino.

A mi psiquiatra Dr. Héctor Eduardo Pimentel Bolaños por enseñarme que es bueno pedir ayuda cuando lo necesitamos, por hacerme entender que la salud mental también es importante, por no dejarme sola en todos estos años y por enseñarme que después de la tormenta siempre sale el sol.

A mi psicóloga Lic. Ana Teresa R. por escucharme y por ser mi guía para siempre tomar las mejores decisiones para mi vida.

DEDICATORIA

Al hombre de mi vida, mi padre Antonio Díaz Reyes por estar siempre para mí, por darme su amor y apoyo incondicional, por todo el sacrificio que hace día con día, por estar a mi lado y enseñarme que no es necesario decir te amo cuando lo demuestras.

A mi madre Flora Aguilar Sánchez, la mujer que más admiro en la vida, a ella por heredarme su fortaleza, por hacerme entender que en el sacrificio esta la recompensa y por nunca soltarme de la mano.

A mi hermana Dra. Lucero Díaz Aguilar por convertirse en mi segunda madre, por amarme y aceptarme, por nunca dejarme sola, por ser mi ángel en todo momento y por enseñarme que soy valiente, soy suficiente, soy importante y soy increíble.

A mi hermana Dra. Alondra Díaz Aguilar por ser motivo de alegría en mi vida, por nunca abandonarme, por siempre protegerme, por enseñarme que el amor propio es primero y que la disciplina es la parte clave de un buen trabajo.

A mi hermano Antonio Francisco Díaz Aguilar por ser uno de mis motores para salir adelante, por enseñarme hacer las cosas aun con miedo.

A mis mascotas Camilo y Negrita por enseñarme que una mirada dice más que mil palabras y por su amor incondicional.

A mi mejor amigo Ferninando por acompañarme siempre y por enseñarme que la amistad verdadera si existe.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 03 de junio del 2001 en Zaragoza, Puebla, México.

- | | |
|---------------------|--|
| 2016-2019 | Estudios de preparatoria. Colegio de Bachilleres del Estado de Puebla Plantel-27.
73700 C.4 Sur y 5 Oriente S/N, Zaragoza Puebla, México. |
| febrero - mayo 2025 | Prácticas profesionales. Asociación Ganadera de San Miguel el Alto, Jalisco, México. |
| 2020-2025 | Estudios de Licenciatura. División de Ciencia Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, México. |

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos particulares	4
1.2 Hipótesis	4
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Historia y Origen del pasto Taiwán	5
2.1.1 Origen africano del <i>Cenchrus purpureus</i>	5
2.1.2 Mejoramiento genético en Taiwán	6
2.1.3 Diferencias con otros cultivares.....	7
2.1.4 Importancia global en la ganadería tropical.....	8
2.2 Introducción y adaptación del pasto Taiwán en México	9
2.2.1 Contexto forrajero nacional	9
2.2.2 Regiones y condiciones de adaptación	10
2.2.3 Evaluaciones agronómicas y rendimiento.....	12
2.2.4 Recomendaciones de manejo	13
2.3 Características del pasto Taiwán.....	14
2.3.1 Descripción botánica y morfológica	14
2.3.2 Factores agronómicos que influyen en el rendimiento	16
2.4 Estructura química y composición de la biomasa de las gramíneas.....	17
2.4.1 Composición general de la biomasa lignocelulósica	17
2.4.2 Celulosa	19
2.4.3 Hemicelulosa	20
2.4.4 Lignina.....	22
2.4.5 Cenizas	23

III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Localización del experimento.....	24
3.2 Material biológico	25
3.3 Diseño experimental y tratamientos	25
3.4 Variables evaluadas	25
3.4.1 Rendimiento de materia seca	25
3.4.2 Contenido de celulosa y hemicelulosa	26
3.4.3 Proteína cruda	26
3.4.4 Contenido de lignina.....	26
3.4.5 Contenido de cenizas	27
3.5 Análisis estadístico	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Rendimiento de materia seca	27
4.2 Contenido de Celulosa y Hemicelulosa	29
4.3 Contenido de proteína cruda	31
4.4 Contenido de lignina.....	33
4.5 Cenizas	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. LITERATURA CITADA	38
VII. ANEXOS	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición estructural promedio de gramíneas tropicales en base a materia seca (%)	18
Cuadro 2. Rendimiento y Composición química de la biomasa del pasto <i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone, cosechado a diferentes frecuencias	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento de materia seca del pasto Taiwán (<i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte.....	28
Figura 2. Contenido de Celulosa y Hemicelulosa del pasto Taiwán (<i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte	30
Figura 3. Porcentajes de proteína cruda en el pasto Taiwán (<i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte.....	32
Figura 4. Contenido de lignina (%) del pasto Taiwán (<i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte	33
Figura 5. Porcentaje de cenizas en el pasto Taiwán (<i>Cenchrus purpureus</i> (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte.....	35

Rendimiento y Calidad Nutricional del Pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) en Respuesta a Distintas Frecuencias de Corte

Cristal Díaz Aguilar

Resumen

El objetivo fue evaluar el rendimiento, composición química y calidad nutricional del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) en diferentes frecuencias de corte. Se estableció un ensayo en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Isla, Veracruz, México. Se evaluaron seis frecuencias de corte (30, 60, 90, 120, 150 y 180 días después de la siembra), analizando el rendimiento de materia seca y los contenidos de proteína cruda, celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas. Los análisis se realizaron bajo las normas TAPPI, ASTM y AOAC, y los resultados fueron procesados mediante el paquete estadístico SAS versión 9.3. Los resultados mostraron que el rendimiento de materia seca aumentó con el tiempo entre cortes, alcanzando su valor máximo a los 180 días (38,483 kg MS ha⁻¹; p<0.05). En contraste, la proteína cruda disminuyó con la madurez del forraje, de 10.5 % a 2.6 % (p<0.05). La celulosa y la lignina aumentaron progresivamente, mientras que la hemicelulosa y las cenizas mostraron una tendencia decreciente (p<0.05). Los cortes entre 90 y 120 días representaron un equilibrio adecuado entre cantidad y calidad del forraje. En conclusión, la frecuencia de corte influye directamente en el rendimiento, composición química y valor nutritivo del pasto Taiwán.

Palabras clave: *Cenchrus purpureus*, rendimiento, frecuencia de corte, composición química.

Yield and Nutritional Quality of Taiwan Grass (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) in Response to Different Cutting Frequencies

Cristal Díaz Aguilar

Abstract

The objective was to evaluate the yield, chemical composition, and nutritional quality of Taiwan grass (*Cenchrus purpureus* (Schum.)) at different cutting frequencies. A trial was established at the “Papaloapan” Experimental Site of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), located in Isla, Veracruz, Mexico. Six cutting frequencies were evaluated (30, 60, 90, 120, 150, and 180 days after planting), analyzing dry matter yield and the contents of crude protein, cellulose, hemicellulose, lignin, and ash. The analyses were performed in accordance with TAPPI, ASTM, and AOAC standards, and the results were analyzed using the SAS statistical package, version 9.3. The results showed that dry matter yield increased with the time between cuttings, reaching its maximum value at 180 days (38,483 kg DM ha⁻¹; p<0.05). In contrast, crude protein decreased with forage maturity, from 10.5% to 2.6% (p<0.05). Cellulose and lignin content increased progressively, while hemicellulose and ash showed a decreasing trend (p<0.05). Cuttings between 90 and 120 days represented a suitable balance between forage quantity and quality. In conclusion, cutting frequency directly influences the yield, chemical composition, and nutritional value of Taiwan grass.

Key words: *Cenchrus purpureus*, yield, cutting frequency, chemical composition.

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería en climas tropicales se basa en gran medida en el suministro de forrajes que permitan mantener la producción de los animales durante todo el año. En ese sentido, las gramíneas forrajeras constituyen la columna vertebral de los sistemas de alimentación animal, gracias a su capacidad para producir biomasa de forma eficiente, adaptarse a condiciones agroclimáticas variadas y contribuir a la sostenibilidad del sistema productivo (Medrano-Escobar *et al.*, 2024). Dentro de este grupo, el pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* Schum. Morrone) ha ganado protagonismo por su elevada productividad, rápido rebrote y buena aceptación por el ganado en regiones tropicales (Ventura-Ríos *et al.*, 2022). Originario de África tropical y posteriormente mejorado en Asia, el cultivar Taiwán ha sido introducido en México para atender la demanda creciente de forraje en zonas cálido-húmedas. Bajo manejo adecuado puede producir más de 30 t ha¹ de materia seca anual, aunque su calidad nutricional tiende a disminuir conforme avanza la madurez del forraje (Medrano-Escobar *et al.*, 2024). El desafío radica en que la abundancia de biomasa no siempre va acompañada de buena calidad, debido a la acumulación de componentes estructurales que limitan la digestibilidad (Aiyesa *et al.*, 2023). En este contexto, el problema que motiva este estudio es que, aunque el pasto Taiwán cuenta con un alto potencial productivo, existe poca información reciente y específica sobre cómo la frecuencia de corte influye en su composición química y valor nutricional bajo condiciones tropicales mexicanas. Esta falta de conocimiento puede conducir a prácticas de manejo subóptimas, con rendimiento o calidad del forraje no maximizada. Por tanto, la justificación de este trabajo se basa en la necesidad de generar evidencia científica que permita optimizar el aprovechamiento del pasto Taiwán en sistemas ganaderos tropicales, brindando soporte técnico al productor para tomar decisiones adecuadas sobre la frecuencia de corte. De esta manera, el objetivo del presente estudio fue evaluar la composición química y el valor nutricional del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) a distintas frecuencias de corte, con el fin de determinar la edad de cosecha óptima. Teniendo como hipótesis que un mayor intervalo entre cortes incrementa el rendimiento de materia seca, pero reduce la calidad nutricional del forraje debido al aumento de células estructurales como la celulosa y lignina.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la composición química y la calidad nutricional del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) en respuesta a distintas frecuencias de corte, con el fin de determinar la edad óptima de cosecha que equilibre el rendimiento de materia seca y la calidad del forraje.

1.1.2 Objetivos particulares

- ✓ Determinar el rendimiento de materia seca del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) bajo diferentes frecuencias de corte.
- ✓ Cuantificar el contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, proteína cruda y cenizas del pasto Taiwán en cada frecuencia de corte evaluada.

1.2 Hipótesis

- ✓ El incremento en los días después de la siembra (DDS) aumenta el rendimiento de materia seca del pasto Taiwán, pero disminuye su calidad nutricional debido al incremento de los componentes estructurales como la celulosa y la lignina.
- ✓ A medida que aumenta la frecuencia de corte, el contenido de proteína cruda y cenizas del forraje disminuye.
- ✓ Las fracciones estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) incrementan con la madurez del pasto, reduciendo su digestibilidad y valor alimenticio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia y Origen del pasto Taiwán

2.1.1 Origen africano del *Cenchrus purpureus*

El *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, anteriormente conocido como *Pennisetum purpureum* Schumach., es una gramínea perenne de porte alto perteneciente a la familia Poaceae, originaria del África tropical. Diversos estudios señalan que su distribución natural comprende regiones del África subsahariana, principalmente en países como Uganda, Kenia, Tanzania, Sudán y la República Democrática del Congo, donde crece de forma silvestre en zonas de sabana húmeda y márgenes de ríos (Habte, 2022). Esta especie se ha adaptado de manera eficiente a ambientes con temperaturas medias entre 25 y 35 °C y precipitaciones anuales superiores a los 1 000 mm, condiciones características de los ecosistemas tropicales africanos (Roy, 2025). Desde su descubrimiento, ha sido reconocida por su elevada capacidad de producción de biomasa, rápido crecimiento y persistencia bajo regímenes de corte frecuentes, lo que la convirtió en una fuente valiosa de alimento para el ganado en sistemas pastoriles tradicionales (Teshome, 2025).

El pasto elefante, como también se le conoce comúnmente, ha sido parte importante de la agricultura africana, donde su aprovechamiento se destinaba principalmente al forraje verde y en menor medida al control de erosión y usos energéticos. Su morfología robusta, con tallos gruesos y fibrosos, y su sistema radical profundo le permiten aprovechar eficazmente la humedad del suelo, otorgándole tolerancia moderada a periodos cortos de sequía (Ghimire, 2023). Además, presenta una alta eficiencia fotosintética tipo C4, característica que le confiere una notable ventaja en productividad frente a otras especies forrajeras tropicales (Islam *et al.*, 2023). Esta eficiencia fisiológica ha sido determinante en su expansión a regiones tropicales de Asia y América, donde fue introducida para incrementar la disponibilidad de forraje durante todo el año (Negawo, 2017).

El material genético de *C. purpureus* presenta una amplia variabilidad natural, resultado de su dispersión en distintas condiciones edafoclimáticas africanas. Esta diversidad ha sido aprovechada en programas de mejoramiento que buscan combinar la alta producción de biomasa con la calidad nutritiva y la tolerancia a condiciones de estrés ambiental (Teshome, 2025). De manera particular, las accesiones colectadas en el este de África han sido la base genética para el desarrollo de numerosos cultivares mejorados, entre ellos el pasto Taiwán, reconocido por su alta digestibilidad y palatabilidad (Habte *et al.*, 2022). En este contexto, el continente africano representa el centro de origen y diversificación del género *Cenchrus*, el cual ha proporcionado recursos genéticos esenciales para la producción forrajera mundial, especialmente en sistemas ganaderos tropicales de mediana y alta intensidad (Roy, 2025).

2.1.2 Mejoramiento genético en Taiwán

El mejoramiento genético del *Cenchrus purpureus* en Taiwán inició a mediados del siglo XX, impulsado por el Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), con el propósito de desarrollar materiales forrajeros de alto rendimiento y adaptabilidad a condiciones tropicales y subtropicales. Los primeros esfuerzos se centraron en la selección de accesiones africanas con buena capacidad de rebrote y alto contenido de materia seca, las cuales fueron introducidas a la isla para su evaluación agronómica (Islam, 2023). Posteriormente, mediante cruzamientos controlados y selección recurrente, se lograron líneas con características superiores en cuanto a producción de forraje, digestibilidad y resistencia a enfermedades, dando origen a variedades como el pasto Taiwán, que combina una excelente respuesta a la fertilización con una proporción favorable de hojas respecto al tallo (Guerra-Medina, 2021).

El programa de mejoramiento desarrollado por el TARI tuvo como eje principal la búsqueda de genotipos capaces de mantener un equilibrio entre rendimiento y calidad nutricional bajo sistemas intensivos de corte y acarreo. La selección se basó en la evaluación de caracteres morfológicos, fisiológicos y composicionales, priorizando materiales con elevada eficiencia fotosintética, alta densidad de macollos y resistencia a

cortes frecuentes (Habte, 2022). Este enfoque permitió el desarrollo de cultivares con hojas más anchas y tiernas, tallos delgados, y una mayor concentración de proteína cruda, lo que incrementó su aceptación en sistemas de producción bovina y ovina de zonas tropicales y subtropicales (Roy, 2025).

Además, el TARI estableció redes de colaboración con centros de investigación de América Latina y África para el intercambio de germoplasma y la evaluación conjunta de líneas híbridas de *C. purpureus*. Estas iniciativas facilitaron la obtención de genotipos mejorados con tolerancia a estrés hídrico y altas temperaturas, así como una mejor eficiencia en el uso del nitrógeno, contribuyendo al desarrollo de materiales más sostenibles para los sistemas ganaderos tropicales (Teshome, 2025). El pasto Taiwán, producto de este proceso de selección, se consolidó como un cultivar de referencia en Asia y América por su alto potencial de biomasa, rápida recuperación poscorte y aceptable calidad nutritiva en comparación con otras variedades de la especie (Negawo, 2017).

2.1.3 Diferencias con otros cultivares

El *Cenchrus purpureus* cv. Taiwán se distingue de otros materiales del mismo complejo forrajero principalmente por su mayor proporción hoja:tallo a edades de cosecha intermedias, tallos relativamente más delgados y láminas foliares más tiernas, rasgos que incrementan la palatabilidad y favorecen una mayor concentración de proteína cruda (PC) cuando se maneja con intervalos de corte de 45–60 días en sistemas de corte-acarreo. En comparación con materiales genéricos conocidos como “*Napier*” o con cultivares de porte muy vigoroso como *King grass*, Taiwán tiende a sacrificar una fracción del rendimiento máximo por corte a edades tardías a cambio de mantener mejor calidad en cosechas más tempranas (menor avance de lignificación y menor FDN/FDA), lo cual se refleja en respuestas positivas de PC y digestibilidad bajo manejo intensivo. Ensayos factoriales realizados en México con Taiwán muestran que la edad fisiológica al corte y la época del año modulan fuertemente la producción de materia seca (MS) y la PC, con ventajas de calidad a edades menores (40–60 días) frente a edades largas, coherentes con la morfología de tallo fino y alta densidad de macollos característica del material (INIFAP, 2025).

2.1.4 Importancia global en la ganadería tropical

El pasto Taiwán ha adquirido relevancia mundial como una de las variedades más eficientes de *Cenchrus purpureus* en la producción de biomasa forrajera, siendo ampliamente utilizado en regiones tropicales y subtropicales de Asia, África y América Latina. Su expansión se ha debido a la combinación de su alta productividad, buena calidad nutricional y excelente adaptación a diversos tipos de suelos y condiciones climáticas (Islam, 2023). En sistemas ganaderos tropicales, donde la disponibilidad de forraje suele fluctuar según la estacionalidad de las lluvias, el Taiwán se ha consolidado como una alternativa estratégica para garantizar el suministro constante de alimento, particularmente bajo sistemas de corte y acarreo (Guerra-Medina, 2021). Esta especie presenta una elevada tasa de rebrote y una notable persistencia durante varios ciclos de corte, atributos que le permiten mantener rendimientos estables y una composición química favorable durante gran parte del año (Habte, 2022).

En América Latina, el Taiwán se ha adaptado exitosamente en países como México, Colombia, Nicaragua y Venezuela, donde ha sido introducido mediante programas de mejoramiento y transferencia tecnológica promovidos por instituciones nacionales e internacionales. En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado ensayos regionales que evidencian su capacidad para producir rendimientos superiores a 40 t/ha/año de materia seca bajo un manejo adecuado de fertilización y corte (INIFAP, 2025). Estos resultados, junto con su aceptable contenido de proteína cruda (10–14 % en promedio) y digestibilidad superior a 60 %, lo han posicionado como un material idóneo para explotaciones bovinas de doble propósito y para la producción de ensilados de alta calidad (Roy, 2025). Además, su estructura foliar fina y la buena proporción de hojas incrementan la palatabilidad, lo que mejora el consumo voluntario en rumiantes y contribuye a una mayor eficiencia en la conversión alimenticia (Negawo, 2017).

En Asia, el Taiwán representa una fuente clave de forraje en sistemas intensivos de producción lechera y caprina. Su alta capacidad de respuesta a la fertilización nitrogenada y la posibilidad de realizar cortes frecuentes permiten mantener una oferta continua de biomasa durante todo el año (Teshome, 2025). Adicionalmente, el material ha sido evaluado para fines energéticos y de aprovechamiento sostenible de biomasa, gracias a su alto contenido de fibra detergente neutra y su potencial para la producción de biogás o bioetanol (Zhang, 2024). En África, donde la especie es originaria, su introducción en programas de mejora genética ha permitido el desarrollo de nuevas líneas híbridas con mayor tolerancia a la sequía y a suelos marginales, lo que amplía su uso en regiones áridas y semiáridas con limitaciones hídricas (Habte, 2022).

En conjunto, la difusión del pasto Taiwán a nivel global se debe a su equilibrio entre rendimiento, calidad nutricional y adaptabilidad ambiental. Estas características lo han convertido en un recurso forrajero estratégico para la seguridad alimentaria del ganado tropical y una herramienta clave en la intensificación sostenible de los sistemas pecuarios (Roy *et al.*, 2025). Su versatilidad y estabilidad productiva lo posicionan entre los forrajes más importantes del género *Cenchrus*, tanto para la alimentación animal como para el aprovechamiento energético en regiones tropicales y subtropicales del mundo (Teshome *et al.*, 2025).

2.2 Introducción y adaptación del pasto Taiwán en México

2.2.1 Contexto forrajero nacional

La ganadería mexicana depende en gran medida de la disponibilidad y calidad de los forrajes, los cuales constituyen la base alimenticia de los sistemas de producción bovina, ovina y caprina en el país. En regiones tropicales y subtropicales, los pastos perennes representan la principal fuente de biomasa, tanto en sistemas de pastoreo como en esquemas de corte y acarreo, siendo determinantes en la sostenibilidad productiva de las unidades pecuarias (INIFAP, 2024). Sin embargo, la oferta forrajera nacional enfrenta variaciones estacionales pronunciadas, asociadas principalmente a la estacionalidad de las

lluvias, a la degradación de las praderas y al limitado uso de prácticas de manejo intensivo, lo cual genera periodos críticos de escasez durante la época seca (Guerra-Medina, 2021). Esta situación se traduce en pérdidas de condición corporal del ganado, disminución en la producción de leche y carne, y en un aumento de los costos de suplementación alimenticia (Roy, 2025).

Para contrarrestar estas limitaciones, el desarrollo y adopción de forrajes de alto rendimiento y buena calidad nutricional ha sido una prioridad en los programas nacionales de mejoramiento y manejo de praderas tropicales. Entre las especies más utilizadas destacan las del género *Cenchrus*, *Brachiaria*, *Panicum* y *Cynodon*, las cuales han mostrado buena adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas del trópico mexicano (INIFAP, 2025). Dentro de este grupo, *Cenchrus purpureus* ha sobresalido por su alta productividad de biomasa y por su capacidad de respuesta a la fertilización nitrogenada y al manejo intensivo (Habte, 2022). Estas cualidades lo han convertido en una de las especies más recomendadas para los sistemas de producción de doble propósito y engorda en el trópico húmedo y subhúmedo del país (De Dios-León, 2021).

La adopción de cultivares mejorados como el pasto Taiwán responde a la necesidad de fortalecer la autosuficiencia forrajera en las unidades pecuarias y de incrementar la eficiencia alimenticia bajo condiciones tropicales. Este material, derivado del mejoramiento genético del *C. purpureus*, ha mostrado un equilibrio favorable entre rendimiento, calidad y capacidad de adaptación, superando en muchos casos a cultivares tradicionales en cuanto a persistencia y velocidad de rebrote (Islam, 2023). En este contexto, la incorporación del Taiwán al acervo forrajero nacional ha permitido diversificar la base alimentaria de la ganadería tropical mexicana y contribuir a la estabilidad productiva durante las épocas críticas del año, reduciendo la dependencia de insumos externos para la suplementación del ganado (INIFAP, 2025).

2.2.2 Regiones y condiciones de adaptación

El pasto Taiwán ha mostrado una excelente adaptabilidad a las condiciones tropicales y subtropicales de México, principalmente en regiones con alta precipitación y

temperaturas elevadas, donde las limitaciones de humedad y fertilidad del suelo suelen restringir la productividad de otros cultivares. Las primeras introducciones y evaluaciones se realizaron en estados con vocación ganadera como Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Guerrero, los cuales presentan suelos fértiles, buen régimen pluvial y una larga temporada de crecimiento vegetativo (INIFAP, 2024). En estos ambientes, el Taiwán ha demostrado alta tasa de establecimiento, buena persistencia y una notable capacidad de rebrote tras el corte, atributos que lo diferencian de otros genotipos de *Cenchrus purpureus* de tallo más grueso y lento crecimiento (Guerra-Medina, 2021).

Las condiciones edafoclimáticas ideales para el desarrollo del Taiwán incluyen temperaturas promedio anuales entre 24 y 33 °C, precipitaciones superiores a 1 000 mm por año y suelos de textura media a franca, bien drenados y con pH ligeramente ácido a neutro. No obstante, se han registrado adaptaciones satisfactorias en suelos de menor fertilidad cuando se aplican prácticas adecuadas de manejo, como la incorporación de materia orgánica y el uso racional de fertilizantes nitrogenados (De Dios-León, 2021). Esta especie presenta buena tolerancia al encharcamiento temporal y una respuesta favorable a la fertilización con estiércol bovino o gallinaza, lo que permite su manejo eficiente en sistemas de pequeña y mediana escala (Habte, 2022).

En evaluaciones comparativas realizadas en el sureste de México, el Taiwán ha mostrado rendimientos de materia seca que superan las 40 t ha⁻¹ año⁻¹ bajo condiciones de riego y fertilización moderada, además de mantener una digestibilidad superior al 60 % en cortes realizados cada 45–60 días (INIFAP, 2025). Estos resultados confirman su alto potencial productivo y su compatibilidad con los sistemas de producción intensiva del trópico húmedo mexicano. Adicionalmente, en regiones subhúmedas como Nayarit y Colima, se ha observado buena respuesta al manejo de pastoreo rotacional y a la conservación mediante ensilado, evidenciando su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes estrategias de manejo forrajero (Roy, 2025).

2.2.3 Evaluaciones agronómicas y rendimiento

Las evaluaciones agronómicas realizadas en distintas regiones tropicales de México han demostrado que el pasto Taiwán posee un alto potencial productivo, tanto en rendimiento de materia verde (MV) como de materia seca (MS), además de una buena calidad nutricional cuando se maneja con frecuencias de corte adecuadas. Ensayos establecidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) han reportado producciones promedio de 150 a 250 t ha⁻¹ año⁻¹ de MV, equivalentes a entre 35 y 45 t ha⁻¹ año⁻¹ de MS bajo condiciones de manejo intensivo, con cortes cada 45 a 60 días (INIFAP, 2025). Estos valores se sitúan por encima de los registrados para cultivares tradicionales de *Cenchrus purpureus*, como King grass o Napier, especialmente cuando se busca optimizar la calidad del forraje y la tasa de rebrote (Guerra-Medina, 2021).

En cuanto a los componentes de calidad nutricional, los análisis bromatológicos indican que el Taiwán presenta contenidos de proteína cruda (PC) entre 10 y 14 %, fibra detergente neutra (FDN) entre 60 y 68 % y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) superior al 60 % en cortes jóvenes (Habte *et al.*, 2022). Estos valores pueden variar según el tipo de suelo, la disponibilidad de nutrientes y la edad del rebrote, aunque tienden a mantenerse dentro de un rango competitivo respecto a otras gramíneas tropicales (Roy *et al.*, 2025). Los resultados de estudios locales señalan, además, que el incremento en la edad de corte y la disminución de la fertilización nitrogenada reducen significativamente la PC y aumentan la lignificación de los tejidos, afectando la digestibilidad y el valor energético del forraje (De Dios-León, 2021).

El comportamiento agronómico del Taiwán también ha sido evaluado en condiciones de estrés ambiental, mostrando tolerancia moderada a la sequía y buena respuesta al riego suplementario. En zonas de temporal, los rendimientos anuales pueden fluctuar entre 20 y 30 t ha⁻¹ de MS, dependiendo de la distribución de la lluvia y de la fertilidad del suelo (INIFAP, 2024). Asimismo, su sistema radical profundo le permite aprovechar eficientemente la humedad del subsuelo, garantizando la persistencia del cultivo en

periodos cortos de déficit hídrico (Islam, 2023). Estas características lo hacen idóneo para sistemas de producción bovina doble propósito, donde la disponibilidad de forraje durante la estación seca es un factor crítico para la estabilidad productiva (Roy, 2025).

En general, los resultados obtenidos en México coinciden con los reportados en otros países tropicales, confirmando que el Taiwán combina alto rendimiento, buena calidad y excelente capacidad de rebrote. Su manejo eficiente, particularmente mediante fertilización nitrogenada y cortes oportunos, permite alcanzar una producción forrajera sostenida, reduciendo la necesidad de suplementación y mejorando la rentabilidad de las explotaciones ganaderas tropicales (INIFAP, 2025).

2.2.4 Recomendaciones de manejo

El manejo agronómico del pasto Taiwán constituye un factor determinante para alcanzar su máximo potencial productivo y mantener una calidad nutricional adecuada. La densidad de siembra recomendada varía entre 40 000 y 50 000 plantas por hectárea, utilizando estacas de 20 a 30 cm de longitud con dos o más yemas viables, colocadas de forma horizontal o ligeramente inclinada a una distancia de 0.8 a 1.0 m entre surcos (INIFAP, 2024). Esta densidad permite un rápido establecimiento del cultivo y favorece una distribución uniforme del follaje, lo que incrementa la interceptación de luz y el rendimiento por unidad de superficie. Durante el establecimiento, se recomienda mantener humedad constante en el suelo y realizar el primer corte a los 90 días después de la siembra, momento en el que las plantas alcanzan una altura promedio de 1.5 a 2.0 m (Guerra-Medina, 2021).

La frecuencia de corte influye directamente en la composición nutricional y la persistencia del cultivo. Estudios recientes indican que intervalos de 45 a 60 días maximizan el rendimiento de materia seca y la concentración de proteína cruda, mientras que cortes más prolongados aumentan la lignificación del tallo y reducen la digestibilidad (Habte, 2022). En términos de fertilización, el Taiwán responde favorablemente a la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio, siendo el nitrógeno el elemento de mayor

impacto en el rendimiento de biomasa. Se recomienda aplicar entre 150 y 250 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, fraccionados en tres o cuatro aplicaciones, complementados con 60 a 100 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P₂O₅ y 80 a 120 kg ha⁻¹ año⁻¹ de K₂O, ajustando las dosis según la disponibilidad de nutrientes del suelo (INIFAP, 2025).

El pasto Taiwán presenta buena tolerancia al pastoreo rotacional cuando se maneja con alturas de entrada de 1.0 a 1.2 m y de salida de 0.4 a 0.5 m, permitiendo un rebrote rápido y una adecuada recuperación de las reservas de carbohidratos (Roy *et al.*, 2025). Para su conservación, el ensilado constituye una alternativa eficiente, especialmente en épocas de excedente forrajero. Los mejores resultados se obtienen con cortes a los 50–60 días de rebrote, cuando el contenido de materia seca se encuentra entre 25 y 30 %, y la relación hoja:tallo aún es alta (De Dios-León *et al.*, 2021). En estas condiciones, el Taiwán produce ensilados de buena fermentación, con pH final entre 3.8 y 4.2 y pérdidas mínimas de materia seca.

Las prácticas complementarias de manejo, como el control de malezas, el monitoreo de plagas (principalmente *Aeneolamia varia*) y el manejo adecuado de la fertilización orgánica, contribuyen a mantener la productividad y longevidad del cultivo. En zonas con marcada estacionalidad de lluvias, la combinación de fertilización orgánica y mineral ha mostrado resultados favorables en rendimiento, calidad y sostenibilidad del sistema (INIFAP, 2024). En conjunto, la adopción de estas prácticas agronómicas optimiza el aprovechamiento del Taiwán, reduce la degradación de los suelos y mejora la eficiencia en el uso de recursos en los sistemas de producción forrajera tropical.

2.3 Características del pasto Taiwán

2.3.1 Descripción botánica y morfológica

El *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, conocido comúnmente como pasto Taiwán, es una gramínea perenne de porte alto perteneciente a la familia Poaceae y al grupo de las plantas C4, caracterizadas por su alta eficiencia fotosintética en ambientes cálidos y

húmedos. Morfológicamente, se distingue por su tallo macizo, cilíndrico y de consistencia succulenta, que puede alcanzar alturas de 3 a 4 m en condiciones favorables de fertilidad y humedad (Roy, 2025). Presenta un sistema radical fasciculado y profundo, lo que le permite explorar estratos inferiores del suelo, mejorar la absorción de nutrientes y mantener una buena tolerancia a periodos cortos de sequía (Habte, 2022). Las hojas son largas, lanceoladas y de color verde intenso, con una longitud promedio de 80 a 120 cm y un ancho de 3 a 5 cm. La lámina foliar es pubescente en el envés, con nervaduras paralelas bien marcadas y márgenes ásperos al tacto, características típicas del género *Cenchrus* (Guerra-Medina, 2021). El número de macollos por planta puede variar entre 20 y 50 dependiendo del manejo agronómico y la frecuencia de corte. El Taiwán presenta un crecimiento cespitoso con hábito semierecto, lo que favorece una mayor densidad foliar y una relación hoja:tallo superior a la de otros cultivares del mismo género, como *King grass* o *Merkeron* (De Dios-León *et al.*, 2021).

La inflorescencia del pasto Taiwán es una espiga terminal que raramente se presenta en sistemas de manejo con cortes frecuentes, ya que la cosecha regular impide el desarrollo pleno de las estructuras reproductivas. Cuando se permite su floración, la espiga puede medir de 15 a 30 cm de largo, con racimos densos de espiguillas violáceas y glumas pilosas (Islam *et al.*, 2023). Las semillas, aunque fértiles, son poco utilizadas para la propagación, pues el establecimiento vegetativo mediante estacas garantiza mayor uniformidad genética y un desarrollo más rápido del cultivo (INIFAP, 2025). El color y la textura de los tallos varían de acuerdo con la edad fisiológica del rebrote: los tejidos jóvenes presentan una mayor proporción de agua y contenido de azúcares solubles, mientras que los tallos maduros desarrollan una estructura más fibrosa con mayor contenido de lignina y celulosa. Esta característica influye directamente en la digestibilidad del forraje y en su valor nutritivo, por lo que el manejo de la edad de corte constituye un aspecto crítico para mantener la calidad del pasto Taiwán (Roy, 2025). Su arquitectura foliar permite un rápido cierre del dosel vegetal, lo que reduce la incidencia de malezas y mejora la eficiencia en la captura de radiación solar, factores que contribuyen a su elevado potencial de biomasa en regiones tropicales (INIFAP, 2024).

2.3.2 Factores agronómicos que influyen en el rendimiento

El rendimiento y la calidad nutricional del pasto Taiwán dependen en gran medida de las condiciones edafoclimáticas y del manejo agronómico aplicado durante su cultivo. Entre los factores más determinantes se encuentran la frecuencia de corte, la fertilización, la disponibilidad de agua, el tipo de suelo y la edad fisiológica del rebrote (INIFAP, 2025). La frecuencia de corte tiene una influencia directa sobre la productividad y la composición química del forraje. Cortes cada 45 a 60 días permiten obtener una mayor proporción de hojas, mayor contenido de proteína cruda (PC) y una digestibilidad superior al 60 %, mientras que cortes más espaciados aumentan el contenido de fibra y lignina, reduciendo la calidad nutritiva (Habte , 2022). Por esta razón, los sistemas de producción intensiva bajo corte y acarreo prefieren intervalos cortos, que optimizan tanto la calidad como la tasa de recuperación del cultivo.

La fertilización constituye otro elemento esencial en el manejo del Taiwán, especialmente el aporte de nitrógeno (N), el cual estimula el crecimiento foliar y mejora el contenido proteico del forraje. La respuesta del Taiwán al nitrógeno es lineal hasta cierto umbral, después del cual el incremento de fertilizante no se traduce en una ganancia proporcional de biomasa, pero sí puede afectar el equilibrio nutricional del suelo (Roy, 2025). De igual forma, la fertilización orgánica mediante el uso de estiércol bovino o gallinaza ha mostrado efectos positivos sobre la productividad y la sostenibilidad del sistema, favoreciendo la estructura del suelo y reduciendo la dependencia de insumos químicos (De Dios-León, 2021).

El régimen hídrico también ejerce un papel crucial en el comportamiento productivo del Taiwán. Aunque esta gramínea muestra una moderada tolerancia a la sequía gracias a su sistema radical profundo, su máxima productividad se alcanza bajo condiciones de humedad constante. En regiones con precipitaciones superiores a 1 000 mm anuales, o bajo riego suplementario, los rendimientos pueden superar las 40 t ha⁻¹ de materia seca al año (Guerra-Medina, 2021). En contraste, los periodos prolongados de déficit hídrico provocan una disminución del área foliar, una mayor concentración de fibra detergente neutra (FDN)

y una reducción de la PC (Habte, 2022). Por ello, se recomienda ajustar la frecuencia de corte y la fertilización según la disponibilidad de agua, de manera que se mantenga un balance adecuado entre rendimiento y calidad del forraje.

La edad fisiológica del rebrote es otro factor clave en la variación de los componentes químicos y estructurales del Taiwán. Durante las primeras semanas posteriores al corte, la planta prioriza el crecimiento foliar y la acumulación de proteínas solubles, mientras que, en etapas más avanzadas, aumenta la proporción de tallos y la deposición de lignina y celulosa en los tejidos (Roy, 2025). Esta evolución fisiológica explica la disminución de la digestibilidad y el valor energético del forraje conforme avanza la madurez. Los cortes tempranos (45–50 días) tienden a ofrecer mejor equilibrio entre calidad y rendimiento, en comparación con los cortes tardíos (70–90 días), en los cuales predomina el material fibroso.

Finalmente, la interacción entre las condiciones de suelo y las prácticas de manejo influye en la persistencia y productividad del cultivo. El Taiwán prospera en suelos bien drenados, con pH entre 5.5 y 7.0, y responde favorablemente a la incorporación de materia orgánica. En suelos ácidos o compactados, la aireación y la aplicación de cal agrícola mejoran la absorción de nutrientes y la tasa de macollamiento (INIFAP, 2025). En conjunto, la combinación de una fertilización equilibrada, una adecuada frecuencia de corte y un manejo hídrico eficiente permite mantener altos niveles de productividad y calidad nutritiva, asegurando la sostenibilidad del pasto Taiwán en los sistemas forrajeros tropicales.

2.4 Estructura química y composición de la biomasa de las gramíneas

2.4.1 Composición general de la biomasa lignocelulósica

La biomasa forrajera de las gramíneas tropicales se compone, en su mayor parte, de una matriz lignocelulósica integrada por celulosa, hemicelulosas y lignina, con fracciones menores de pectinas, proteínas estructurales, compuestos fenólicos, sílice y cenizas. En términos estructurales, la celulosa forma microfibrillas de β -(1→4)-D-glucano que

constituyen el almacén mecánico de la pared; estas microfibrillas se incrustan en una matriz de hemicelulosas y, en células maduras, quedan parcialmente encapsuladas por lignina, lo que confiere rigidez, hidrofobicidad y resistencia a la degradación. En gramíneas (pared “Tipo II”), la matriz hemicelulósica está dominada por glucuronoarabinosilanos (GAX) y, en tejidos jóvenes, por β -(1→3,1→4)-glucanos, mientras que el contenido de pectinas y xiloglucanos es relativamente bajo respecto de dicotiledóneas; además, son característicos los ésteres fenólicos (ferulato y *p*-cumárate) que entrecruzan polisacáridos y lignina, modulando la porosidad y la recalcitrancia de la pared (Pauly y Keegstra, 2016; Hatfield , 2017; Chandrakanth , 2023; Zhang , 2024). La proporción relativa de estas fracciones varía con la especie, tejido, edad fisiológica del rebrote y manejo (fertilización, frecuencia de corte), lo que explica la diversidad de respuestas en rendimiento de forraje, proteína cruda y digestibilidad observadas entre cultivares de *Cenchrus purpureus* bajo condiciones tropicales. En el Cuadro 1 se presentan los rangos promedio de composición estructural de diferentes gramíneas tropicales, destacando los valores reportados para el pasto *Cenchrus purpureus*.

Cuadro 1. Composición estructural promedio de gramíneas tropicales en base a materia seca (%).

Especie forrajera	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
<i>Cenchrus purpureus</i>	38–42	28–33	17–21
<i>Pánico máximo</i>	35–40	25–30	12–16
<i>Vaciaria briznita</i>	34–39	26–31	10–14
<i>Megathyrsus máximos</i>	36–41	27–32	12–17
<i>Pennisetum clandestinum</i>	33–38	24–29	10–13

Los valores corresponden a rangos reportados en estudios de composición química de gramíneas tropicales. Fuente: Elaboración con base en Habte *et al.* (2022); Ramos *et al.* (2021); Méndez *et al.* (2020); Fonseca *et al.* (2019); Rocha *et al.* (2023); Silva *et al.* (2018).

Desde una perspectiva funcional, la celulosa aporta la mayor parte de la resistencia tensil y representa, en gramíneas tropicales, una fracción sustancial de la materia seca; las hemicelulosas se asocian físicamente a las microfibrillas y determinan, junto con los ferulatos unidos a GAX, el entrecruzamiento de la red polisacáridica; y la lignina ocupa el

espacio intermicrofibrilar de la pared secundaria, reduciendo la accesibilidad enzimática y aumentando la resistencia a degradación. Conforme avanza la madurez, aumenta la lignificación y se incrementa la relación tallo:hoja, con el consiguiente descenso de proteína cruda y digestibilidad; de manera paralela, cambian las fracciones estructurales (FDN/FDA) y se modifican atributos de aprovechamiento energético como el poder calorífico, que tiende a correlacionarse positivamente con el contenido de lignina y carbono fijo, pero negativamente con humedad y, en parte, con cenizas (Ralph *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Ríos *et al.*, 2022). En gramíneas forrajeras se observa, además, la presencia variable de sílice biogénica que contribuye a la fracción de cenizas y puede influir en el desgaste mecánico y en la digestibilidad ruminal. En conjunto, la arquitectura y composición de la pared “Tipo II” explican la dualidad del material: alto potencial de biomasa para la alimentación de rumiantes y aptitud energética para esquemas de valorización termoquímica o bioquímica, siempre que se gestione la humedad, se controle el contenido de cenizas y se optimicen las condiciones de pretratamiento (Zhong y Ye, 2015; Pauly y Keegstra, 2016; Hatfield, 2017; Zhang *et al.*, 2024).

2.4.2 Celulosa

La celulosa es el componente estructural más abundante de la pared celular vegetal y constituye entre el 30 y el 45 % de la materia seca (MS) en las gramíneas tropicales, incluyendo al *Cenchrus purpureus* (Zhang *et al.*, 2024). Se trata de un polisacárido lineal formado por unidades de β -D-glucosa unidas mediante enlaces β -(1 \rightarrow 4)-glucosídicos, organizadas en cadenas paralelas que se agrupan para formar microfibrillas cristalinas de alta resistencia mecánica (Pauly y Keegstra, 2016). Estas microfibrillas constituyen el esqueleto de la pared celular y se asocian con hemicelulosas mediante puentes de hidrógeno, proporcionando rigidez, estabilidad y soporte estructural al tejido vegetal (Ríos *et al.*, 2022). En el caso del pasto Taiwán, la abundancia de celulosa y su grado de cristalinidad influyen directamente en la digestibilidad del forraje y en su aprovechamiento energético, ya que una estructura más ordenada limita la acción de las enzimas digestivas en el rumen y reduce la accesibilidad de los carbohidratos estructurales (Silva, 2020).

La proporción y el grado de polimerización de la celulosa varían de acuerdo con la edad fisiológica del rebrote, la disponibilidad de nitrógeno y las condiciones ambientales. En tejidos jóvenes, la fracción celulósica suele presentar un menor grado de cristalización y mayor proporción de zonas amorfas, lo que facilita la digestión ruminal y aumenta la degradabilidad in vitro de la materia seca (Habte, 2022). A medida que avanza la madurez del tallo, la acumulación de celulosa en la pared secundaria se incrementa y se acompaña de una mayor deposición de lignina, lo cual disminuye la digestibilidad y la concentración de proteína cruda (Roy *et al.*, 2025). En *C. purpureus*, el contenido de celulosa tiende a situarse entre 35 y 46 % de la MS en estados intermedios de crecimiento, alcanzando valores más altos en tejidos maduros o en plantas sometidas a deficiencia hídrica (Ralph, 2019; Chandrakanth *et al.*, 2023).

Desde el punto de vista bioquímico, la estructura cristalina de la celulosa le confiere una notable resistencia al proceso de hidrólisis, razón por la cual constituye una fracción clave tanto en el valor nutritivo del forraje como en su potencial de aprovechamiento industrial. En la alimentación animal, una celulosa moderadamente cristalina favorece la fermentación microbiana en el rumen, mientras que en aplicaciones bioenergéticas, el alto contenido de celulosa del Taiwán representa una ventaja para la producción de bioetanol o biogás, siempre que se apliquen tratamientos de prehidrolización o digestión enzimática adecuados (Zhong y Ye, 2015; Ríos, 2022).

2.4.3 Hemicelulosa

Las hemicelulosas constituyen el segundo grupo más abundante de polisacáridos estructurales en las gramíneas tropicales y representan entre el 20 y el 35 % de la materia seca (MS) del *Cenchrus purpureus*, dependiendo de la edad del rebrote y de las condiciones de crecimiento (Chandrakanth *et al.*, 2023). A diferencia de la celulosa, cuya estructura es lineal y altamente cristalina, las hemicelulosas son polisacáridos amorfos y heterogéneos, formados por combinaciones de pentosas (xilosa, arabinosa), hexosas (glucosa, manosa, galactosa) y ácidos urónicos (Zhang *et al.*, 2024). Esta naturaleza ramificada y su menor grado de polimerización les otorgan flexibilidad y capacidad de enlace con la celulosa y la

lignina, desempeñando un papel fundamental en la cohesión y resistencia de la pared celular (Pauly y Keegstra, 2016).

En las gramíneas tipo C4, como el pasto Taiwán, las hemicelulosas predominantes son los glucuronoarabinoxilanos (GAX), que constituyen la matriz principal de la pared celular “tipo II”. Estos polímeros están compuestos por una cadena lineal de β -(1→4)-D-xilopiranososa sustituida por ramificaciones de ácido glucurónico y arabinosa, las cuales pueden estar unidas covalentemente a compuestos fenólicos como el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico (Hatfield *et al.*, 2017). Dichos enlaces fenólicos permiten el entrecruzamiento con la lignina durante el proceso de maduración, aumentando la resistencia mecánica del tejido y reduciendo su degradabilidad enzimática. Por ello, la proporción y estructura de los GAX influyen directamente en la digestibilidad de las gramíneas y en la eficiencia de aprovechamiento del forraje por los rumiantes (Ríos, 2022).

El contenido y composición de las hemicelulosas pueden variar según factores agronómicos y fisiológicos. En pastos cosechados a edades tempranas (40–50 días), la fracción hemicelulósica es más soluble y menos asociada a la lignina, lo que mejora la digestibilidad y el valor nutritivo. En etapas de madurez avanzada, aumenta la proporción de enlaces éster ferúlicos y la rigidez estructural de la pared, disminuyendo la degradabilidad ruminal (Silva *et al.*, 2020). Además, prácticas como la fertilización nitrogenada y la disponibilidad hídrica pueden modificar el contenido de hemicelulosas, ya que influyen en el crecimiento celular y en la deposición de carbohidratos estructurales (Habte *et al.*, 2022). Desde un punto de vista aplicado, las hemicelulosas no solo determinan la calidad nutritiva del forraje, sino que también representan una fuente valiosa de azúcares fermentables para la producción de biocombustibles. En bioprocesos, su hidrólisis produce xilosa, arabinosa y manosa, que pueden ser utilizadas en la síntesis de etanol de segunda generación o en la elaboración de bioplásticos (Ralph *et al.*, 2019).

2.4.4 Lignina

La lignina es un polímero aromático complejo que representa entre el 10 y el 25 % de la materia seca (MS) en las gramíneas tropicales, constituyendo el tercer componente estructural principal de la pared celular después de la celulosa y las hemicelulosas (Ríos *et al.*, 2022). Su función biológica es proporcionar rigidez, impermeabilidad y resistencia a la degradación microbiana, además de participar en el transporte de agua y nutrientes a través de los tejidos vasculares (Hatfield *et al.*, 2017). La lignina se deposita principalmente en la pared secundaria de las células y se forma por la polimerización de tres alcoholes monolignoles: p-cumarílico, coniferílico y sinapílico, que originan las unidades H (hidroxifenilo), G (guayacilo) y S (siringilo), respectivamente (Ralph *et al.*, 2019). En las gramíneas, la proporción de unidades G y S varía según la especie y la edad del tejido, siendo las unidades G más abundantes en tejidos jóvenes y las S predominantes en tejidos maduros (Zhang *et al.*, 2024).

El proceso de lignificación está estrechamente relacionado con la madurez fisiológica del pasto Taiwán y constituye uno de los principales factores que determinan su digestibilidad. A medida que la planta envejece, se incrementa la deposición de lignina en los haces vasculares y en las paredes celulares de los tejidos de soporte, lo que reduce la accesibilidad de las enzimas digestivas a la celulosa y las hemicelulosas (Chandrakanth *et al.*, 2023). Este fenómeno explica la disminución progresiva del contenido de proteína cruda (PC) y de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) con el aumento de la edad de rebrote. En cortes realizados a los 45–50 días, el contenido de lignina suele mantenerse por debajo del 14 %, mientras que en cortes tardíos puede superar el 20 % de la MS, afectando significativamente el valor nutritivo del forraje (Habte *et al.*, 2022).

La composición química y estructural de la lignina en el *Cenchrus purpureus* también influye en su potencial de aprovechamiento energético. Un mayor contenido de lignina incrementa la densidad energética del material, mejorando su poder calorífico y su valor como biomasa para combustión o gasificación (Silva *et al.*, 2020). No obstante, su alta recalcitrancia dificulta la conversión bioquímica de los polisacáridos a azúcares

fermentables, lo que representa un desafío en la producción de bioetanol de segunda generación (Ríos *et al.*, 2022). Desde el punto de vista forrajero, el manejo agronómico orientado a cortes más frecuentes y a una adecuada fertilización nitrogenada permite limitar la acumulación excesiva de lignina y conservar un equilibrio favorable entre calidad y rendimiento (INIFAP, 2025).

2.4.5 Cenizas

El contenido de cenizas en la biomasa vegetal representa la fracción inorgánica residual que permanece después de la combustión completa de la materia orgánica, y está compuesta principalmente por silicio (Si), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P) y oligoelementos en menor proporción. En gramíneas tropicales como el *Cenchrus purpureus*, las cenizas suelen constituir entre el 6 y el 12 % de la materia seca (MS), aunque este valor puede variar considerablemente según la edad de corte, la fertilidad del suelo y el manejo agronómico aplicado (Ríos *et al.*, 2022). En etapas tempranas de crecimiento, el contenido de cenizas es mayor debido a la alta concentración de minerales móviles y a la baja lignificación del tejido vegetal; conforme la planta madura, la acumulación de fibra estructural diluye la proporción de minerales totales (Zhang *et al.*, 2024).

El contenido mineral de la biomasa forrajera desempeña un papel importante tanto en la nutrición animal como en el aprovechamiento energético del material. En la alimentación de rumiantes, las cenizas reflejan la concentración de macro y micronutrientes esenciales que influyen en el metabolismo y la producción, como Ca, P, K y Mg (Chandrakanth *et al.*, 2023). Sin embargo, concentraciones excesivas pueden indicar contaminación con tierra o polvo, lo que disminuye la digestibilidad aparente y altera la composición bromatológica del forraje (Habte *et al.*, 2022). En sistemas de corte y acarreo, las buenas prácticas de manejo (como evitar el arrastre del material por el suelo y realizar cortes a una altura mínima de 10 cm) contribuyen a mantener niveles adecuados de cenizas y una mayor pureza del material recolectado (INIFAP, 2025).

Desde el punto de vista bioenergético, el contenido de cenizas es un parámetro crítico en la combustión y pirólisis de biomasas lignocelulósicas. Un valor elevado de cenizas reduce la eficiencia térmica y favorece la formación de incrustaciones y escorias en los equipos de conversión energética, debido a la fusión de compuestos alcalinos como el K_2O y el Na_2O (Silva *et al.*, 2020). En este sentido, las gramíneas tropicales, incluida el Taiwán, presentan un contenido de sílice relativamente alto en comparación con las especies leñosas, lo que incrementa su resistencia mecánica, pero puede limitar su uso directo como biocombustible sólido (Ralph *et al.*, 2019). Por ello, en aplicaciones energéticas se recomienda la mezcla de biomasas con menor contenido mineral o la aplicación de pretratamientos de lavado y secado para reducir el porcentaje de cenizas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El estudio se llevó a cabo en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, México, en las coordenadas 18°06' N y 95°31' O, a una altitud de 65 msnm. El experimento se estableció el 22 de julio de 2011, y las evaluaciones se realizaron desde el 24 de agosto de 2011 hasta el 20 de febrero de 2012, cubriendo un periodo total de 180 días de muestreo correspondientes a seis frecuencias de corte (30, 60, 90, 120, 150 y 180 días después de la siembra). El sitio presenta un clima Awo, según la clasificación de Köppen modificada por García (1988), correspondiente al más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano. La precipitación media anual es de aproximadamente 1,000 mm, concentrada entre junio y noviembre, y una temperatura media anual de 25.7 °C. El suelo del sitio experimental es un Acrisol órtico, de textura franco arenosa, con un pH entre 4.0 y 4.7, bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno, calcio y potasio, y niveles medios a altos de fósforo y magnesio (Enríquez y Romero, 1999).

3.2 Material biológico

Se utilizó material vegetativo de pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone), una gramínea tropical de alta producción de biomasa. La siembra se efectuó mediante tallos (estacas) colocados en líneas a cordón corrido, con una densidad de 4.33 puntos de germinación por metro lineal y una separación entre surcos de 0.50 m, alcanzando una densidad aproximada de 87,000 plantas por hectárea. Las parcelas experimentales midieron 5 m de ancho por 16 m de largo y se establecieron con tres repeticiones. Se aplicó una dosis de fertilización de 120-80-00 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, fraccionada en dos aplicaciones: la primera a los 43 días y la segunda a los 112 días después de la siembra.

3.3 Diseño experimental y tratamientos

Se evaluaron seis frecuencias de corte (30, 60, 90, 120, 150 y 180 días después de la siembra), bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. El corte se realizó a ras del suelo mediante muestreos destructivos, cosechando dos transectos de 1 m lineal por parcela y por etapa de crecimiento. El material cosechado se pesó para obtener el peso fresco total, y se tomó una submuestra representativa, que fue secada en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, para determinar el contenido de materia seca (MS) y calcular el rendimiento de biomasa.

3.4 Variables evaluadas

3.4.1 Rendimiento de materia seca

El rendimiento de materia seca (MS) constituye un indicador fundamental del potencial productivo de las especies forrajeras y se utiliza como base para la estimación del aporte nutricional disponible por unidad de superficie. En este estudio, el rendimiento se obtuvo a partir del peso fresco total del forraje cosechado y del contenido de humedad determinado en una submuestra, la cual se secó en estufa de aire forzado a 55 °C hasta

alcanzar un peso constante. Los resultados se expresaron en kg de materia seca por hectárea (kg MS ha^{-1}).

3.4.2 Contenido de celulosa y hemicelulosa

Los contenidos de celulosa y hemicelulosa se determinaron siguiendo las normas TAPPI T-257, T-204, T-264 y D-1103, empleando 1.0 g de muestra libre de humedad y extractos. Estas normas técnicas establecen los procedimientos normalizados para la preparación, extracción y cuantificación de componentes lignocelulósicos en materiales vegetales. La TAPPI T-257 define la preparación de la muestra para análisis químico; la TAPPI T-204 especifica la extracción de solventes para eliminar compuestos no estructurales; la TAPPI T-264 indica el método de desengrasado previo; y la TAPPI D-1103 describe la determinación cuantitativa de α -celulosa mediante hidrólisis controlada con soluciones alcalinas. Los resultados se expresaron en porcentaje con base en la materia seca.

3.4.3 Proteína cruda

El contenido de proteína cruda (PC) se calculó a partir del nitrógeno total (NT) determinado mediante el método semimicro Kjeldahl, establecido por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC, 1990). Esta norma describe el procedimiento para la digestión, destilación y titulación del nitrógeno orgánico contenido en las muestras, utilizando ácido sulfúrico concentrado y un catalizador para convertir el nitrógeno en amonio, el cual posteriormente se cuantifica por titulación con ácido estándar. El valor final de proteína cruda se obtuvo multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor de conversión 6.25, conforme a los lineamientos establecidos por la AOAC para alimentos y forrajes destinados a la producción animal.

3.4.4 Contenido de lignina

El contenido de lignina se determinó a partir de muestras libres de extractos y humedad, conforme a la Norma TAPPI 222 om-88 (TAPPI, 1991). Esta norma describe el

procedimiento para cuantificar el contenido de lignina insoluble en ácido, mediante la hidrólisis de los carbohidratos estructurales con ácido sulfúrico concentrado (72 %) y posterior lavado, secado y pesado del residuo lignificado. Los resultados se expresaron en porcentaje de materia seca.

3.4.5 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas totales se cuantificó por combustión completa de la muestra, siguiendo la Norma ASTM D-1102, la cual establece el procedimiento para determinar el residuo inorgánico remanente después de la incineración del material lignocelulósico en una mufla a temperaturas entre 575 y 600 °C. La norma especifica que la muestra debe secarse previamente, carbonizarse lentamente y mantenerse en atmósfera oxidante hasta peso constante, expresando los resultados como porcentaje del peso seco total.

3.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de las frecuencias de corte sobre las variables de rendimiento y composición química. Las diferencias entre medias se determinaron mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Adicionalmente, se efectuó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para identificar efectos conjuntos entre las variables de análisis proximal. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el paquete SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2012).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de materia seca

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del rendimiento de materia seca del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias

de corte. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, mostrando un aumento progresivo del rendimiento conforme avanzaron los días después de la siembra (DDS). Los valores oscilaron entre 10,164 kg MS ha⁻¹ en el corte de 30 DDS y 38,483 kg MS ha⁻¹ en el de 180 DDS (Cuadro 2 de Anexos), este último superior al resto de DDS ($p < 0.05$), evidenciando que los cortes más tardíos acumularon una mayor cantidad de biomasa. Los cortes de 120 y 150 DDS no mostraron diferencias significativas entre sí ($p > 0.05$), aunque superaron estadísticamente a los cortes de 30, 60 y 90 DDS ($p < 0.05$), indicando que el crecimiento del pasto mantiene una fase activa de acumulación de materia seca mayor a los 120 días.

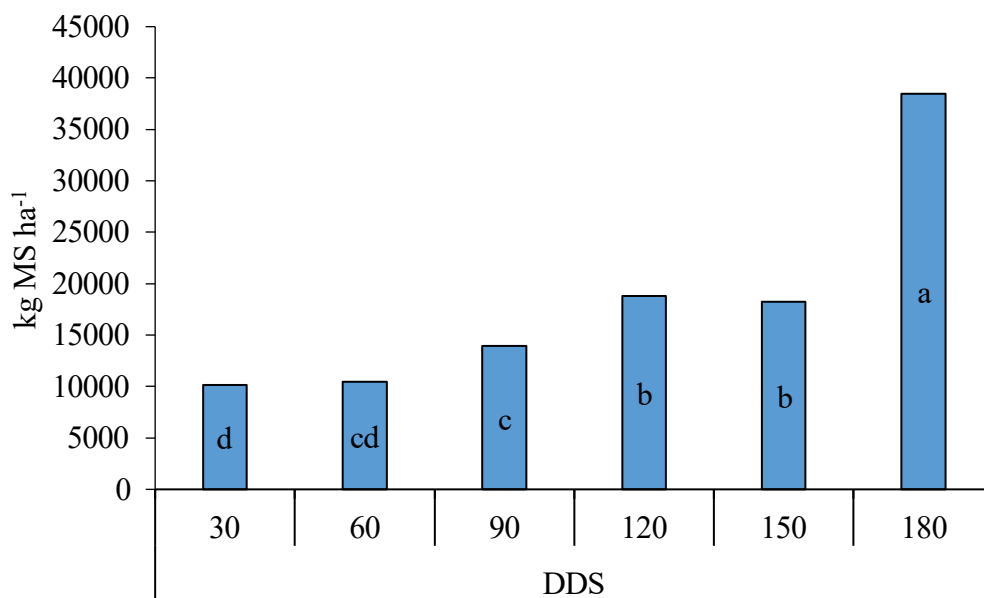


Figura 1. Rendimiento de materia seca del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte. DDS= Días después de la siembra. Literales diferentes sobre las columnas de la gráfica indican diferencia significativa entre días de corte ($p < 0.05$).

El incremento del rendimiento con la edad del rebrote puede explicarse por la expansión foliar, el engrosamiento de los tallos y la mayor eficiencia fotosintética de la planta en etapas de desarrollo avanzado. Estos factores permiten una mayor acumulación de carbohidratos estructurales en los tejidos vegetativos, principalmente celulosa y hemicelulosa, los cuales contribuyen al aumento de la biomasa total (Kumar *et al.*, 2020).

De manera similar, Ghimire *et al.* (2023) reportaron un patrón comparable en *Cenchrus purpureus* y otras gramíneas C4 tropicales, donde los rendimientos se duplicaron entre los 60 y 180 días debido a la prolongación del ciclo fotosintético y la mayor retención de hojas verdes.

Los resultados del presente estudio coinciden con lo descrito por Adebayo *et al.* (2020) quienes registraron rendimientos anuales entre 35 y 42 t MS ha⁻¹ en pastos Taiwán y King Grass bajo condiciones tropicales de África oriental y occidental. En ambos casos, los cortes realizados entre 150 y 180 días proporcionaron los mayores volúmenes de forraje, aunque acompañados de un incremento en la fracción fibrosa y una reducción en la calidad nutritiva. Esto concuerda con el comportamiento observado en el presente trabajo, donde la producción se incrementó significativamente ($p < 0.05$) en los cortes más tardíos, pero a expensas de una posible disminución en la digestibilidad del forraje.

En general, los resultados reflejan que la frecuencia de corte tiene un efecto determinante sobre el rendimiento del pasto Taiwán. Aunque los intervalos largos favorecen la acumulación de biomasa, intervalos intermedios entre 90 y 120 DDS representan una alternativa equilibrada entre cantidad y calidad del forraje, evitando la excesiva lignificación del tejido vegetal. Este comportamiento reafirma la capacidad del pasto Taiwán para sostener altos niveles de productividad en regiones tropicales bajo sistemas de corte y acarreo.

4.2 Contenido de Celulosa y Hemicelulosa

Los cambios en el contenido de celulosa y hemicelulosa del pasto *Cenchrus purpureus* (Schum.) Marrone, ante distintas frecuencias de corte se representan en la Figura 2. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, con valores de celulosa que oscilaron entre 37.6 % y 43 %, mientras que la hemicelulosa varió de 29 % a 34.5 % (Cuadro 2 de Anexos). De acuerdo con el análisis estadístico, los cortes de 90, 120 y 150 DDS conformaron fueron superiores ($p < 0.005$), evidenciando un aumento en el contenido de celulosa respecto a los cortes más tempranos (30 y 60 DDS), los cuales presentaron los menores porcentajes, reflejando un menor grado de madurez estructural.

Por el contrario, en la fracción de hemicelulosa se observó una tendencia inversa, donde los mayores valores se registraron en los cortes iniciales (30 y 60 DDS, literales), mientras que los cortes intermedios y tardíos (90 a 180 DDS) mostraron valores significativamente menores.

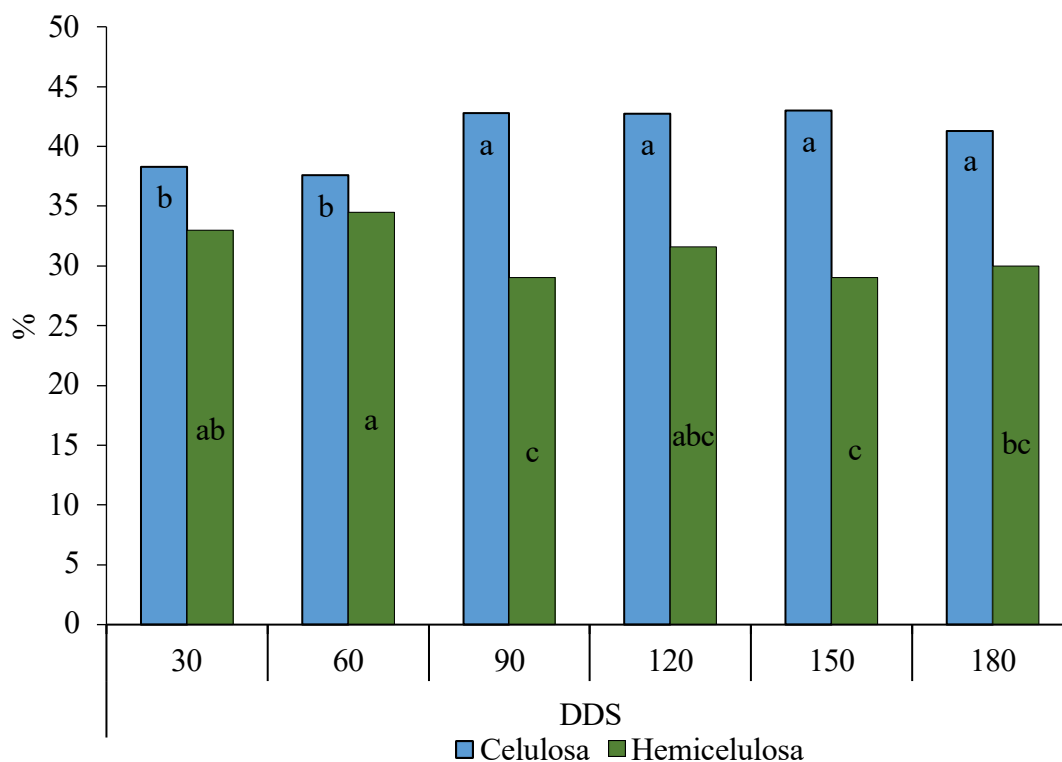


Figura 2. Contenido de Celulosa y Hemicelulosa del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte. DDS= Días después de la siembra. Literales diferentes sobre las columnas del mismo color en la gráfica, indican diferencia significativa entre días de corte ($p < 0.05$).

Este comportamiento confirma que, a medida que el forraje envejece, se produce una mayor deposición de celulosa en la pared celular, mientras la hemicelulosa disminuye, posiblemente por su transformación parcial durante el proceso de lignificación. Según Yousuf *et al.* (2023), la madurez fisiológica del *Cenchrus purpureus* favorece la síntesis de microfibrillas de celulosa que se asocian con lignina, reduciendo la proporción de polisacáridos solubles como las hemicelulosas. De forma similar, Ramos *et al.* (2021) señalan que la proporción de celulosa puede incrementarse hasta un 25 % entre los 60 y 150

días de crecimiento en gramíneas tropicales, debido a la expansión y engrosamiento de los tallos.

El patrón estadístico observado sugiere un punto de inflexión fisiológica alrededor de los 90 a 120 DDS, donde el forraje alcanza una composición estructural más estable. Este intervalo coincide con el periodo en el cual la tasa de crecimiento foliar comienza a disminuir y el metabolismo energético se orienta hacia la síntesis de tejidos de soporte. Borin *et al.* (2019) reportaron que, en cultivares de *Cenchrus purpureus* y *Panicum maximum*, la reducción de hemicelulosa posterior a los 100 días de crecimiento está directamente asociada con el aumento de lignina y la menor digestibilidad de la fibra neutro detergente. Estos resultados corroboran lo descrito por Ghimire *et al.* (2023), quienes indicaron que la edad de rebrote y la frecuencia de corte son los principales factores que determinan la composición estructural en gramíneas tropicales. En conjunto, los cortes intermedios (90 a 120 DDS) representaron un punto de equilibrio entre acumulación de biomasa y calidad estructural, lo cual sugiere que este intervalo es el más adecuado para maximizar la digestibilidad sin comprometer la productividad del pasto Taiwán.

4.3 Contenido de proteína cruda

De acuerdo a lo ilustrado en la Figura 3, el contenido de proteína cruda (PC) del pasto *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone, disminuyó de forma significativa ($p < 0.05$) con el incremento de los DDS, mostrando contrastes claros entre las diferentes frecuencias evaluadas. El mayor valor de proteína se presentó en el corte de 30 DDS (10.5 %), siendo estadísticamente superior ($p < 0.05$) al resto de los tratamientos, seguido por el de 60 y 90 DDS con 6.4 y 4.5 % de PC, respectivamente (Cuadro 2 de Anexos). En contraste, el menor valor se registró a los 150 DDS con 2.6 % de PC. La reducción progresiva del contenido de proteína cruda a medida que avanzó la edad del rebrote se asocia principalmente con la dilución del nitrógeno en el tejido vegetal y con la mayor lignificación de las paredes celulares, lo que limita la proporción de compuestos metabólicamente activos. Según Habte *et al.* (2022), en gramíneas tropicales como *Cenchrus purpureus* la proteína puede reducirse hasta en un 50 % entre los 30 y 150 días de crecimiento, debido al incremento en la

proporción de tallos y a la disminución del área foliar activa. De igual forma, Roy *et al.* (2025) señalan que los contenidos de proteína en cultivares tropicales se ven afectados por la redistribución del nitrógeno hacia estructuras de soporte, provocando una disminución constante con el tiempo.

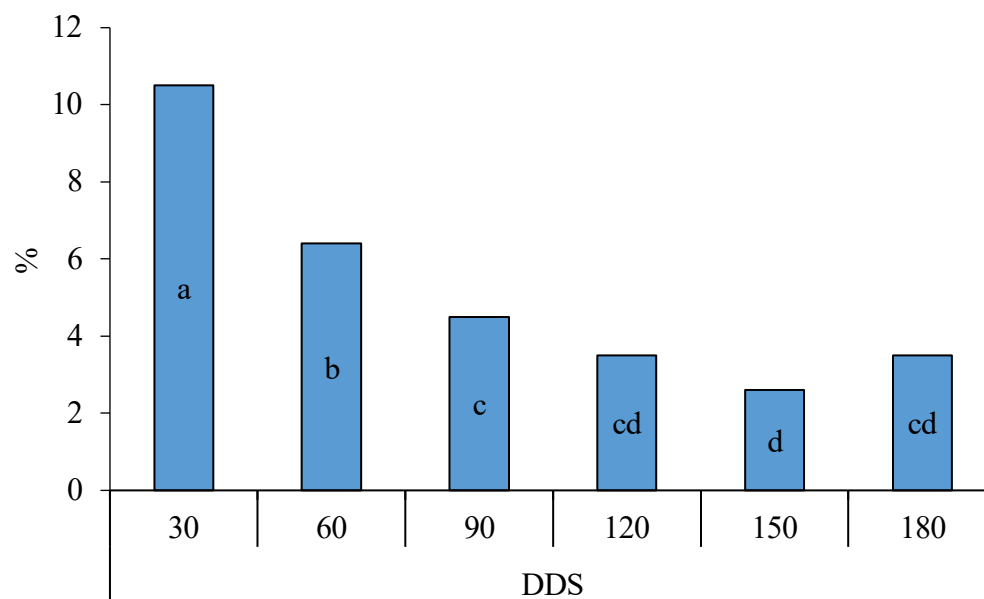


Figura 3. Porcentajes de proteína cruda en el pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte. DDS= Días después de la siembra. Literales diferentes sobre las columnas de la gráfica indican diferencia significativa entre días de corte ($p < 0.05$).

Los valores obtenidos en este estudio (10.5 a 2.6 %) coinciden con los rangos reportados por Yousuf *et al.* (2023), quienes observaron niveles entre 3 y 11 % en pastos Taiwán sometidos a diferentes intervalos de corte. De manera similar, Adebayo *et al.* (2020) reportaron que los cortes cada 30–45 días mantienen niveles superiores al 10 %, mientras que los realizados después de los 120 días caen por debajo del 4 %. Este patrón confirma que el intervalo de corte es determinante en la calidad proteica del forraje, siendo los cortes tempranos los más nutritivos y los tardíos los de menor valor alimenticio. En conjunto, los resultados muestran que el contenido de proteína cruda del pasto Taiwán disminuye significativamente ($p < 0.05$) a partir de los 90 DDS, alcanzando sus niveles más bajos a partir de los 120 DDS.

4.4 Contenido de lignina

En la Figura 4 se muestra el comportamiento del contenido de lignina del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) en función de la frecuencia de corte. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, registrándose un incremento progresivo del contenido de lignina a medida que aumentaron los días después de la siembra (DDS). Como se observa en el Cuadro 2 de Anexos, los valores oscilaron entre 16.8 % y 21 %, siendo el menor valor el obtenido a los 30 DDS (17.7 %) y 60 DDS (16.8 %), y el mayor en los cortes de 150 y 180 DDS (21 y 20.9 %, respectivamente), los cuales no difirieron significativamente entre sí ($p > 0.05$). Los cortes de 90 y 120 DDS mostraron valores intermedios (19.6 y 19.7 %) y fueron estadísticamente superiores ($p < 0.05$) a los cortes de 30 y 60 DDS, lo que indica que la lignificación del tejido vegetal se acentúa a partir de los 90 días de crecimiento.

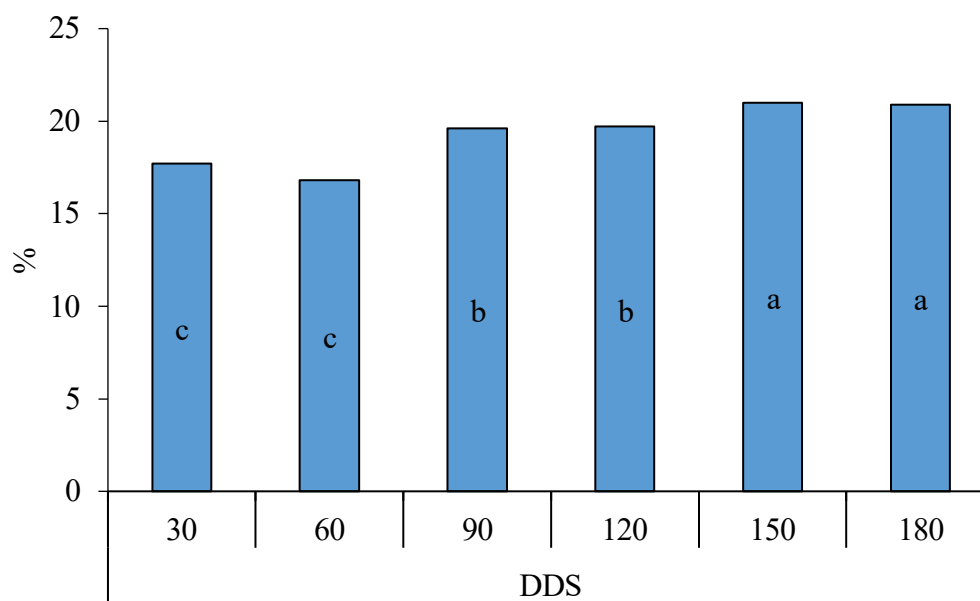


Figura 4. Contenido de lignina (%) del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte. DDS= Días después de la siembra. Literales diferentes sobre las columnas de la gráfica indican diferencia significativa entre días de corte ($p < 0.05$).

El aumento del contenido de lignina con la edad del forraje se explica por el proceso de maduración estructural y la formación de paredes celulares secundarias, en las cuales

este compuesto cumple una función mecánica esencial. Según Carvalho *et al.* (2020), la lignina es el principal responsable de conferir rigidez y resistencia al tallo, reduciendo la digestibilidad del material vegetal conforme el forraje envejece. De forma similar, Moraes *et al.* (2019) observaron en cultivares de *Cenchrus purpureus* que el contenido de lignina aumenta de manera significativa después de los 100 días de rebrote, coincidiendo con la transición hacia etapas reproductivas y una mayor acumulación de tejido fibroso.

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado por Yousuf *et al.* (2023), quienes encontraron contenidos de lignina entre 17 y 22 % en forrajes tropicales cosechados entre 30 y 180 días, indicando que el aumento de la fracción lignificada es un proceso inevitable del crecimiento. Asimismo, Ramos *et al.* (2021) y Roy *et al.* (2025) destacan que el incremento de lignina está inversamente correlacionado con el contenido de proteína cruda, ya que a medida que se desarrolla la pared celular secundaria, disminuye la proporción de compuestos solubles y nitrogenados en el tejido vegetal. Este comportamiento confirma que la lignificación se intensifica a partir de los 90 DDS, alcanzando su punto máximo en los cortes tardíos (150–180 DDS), donde la digestibilidad potencial del forraje se ve reducida ($p < 0.05$). No obstante, este aumento estructural también contribuye a la resistencia mecánica y persistencia del cultivo, características deseables en sistemas de corte y acarreo. Por lo tanto, para mantener un equilibrio entre valor nutritivo y estabilidad estructural, los intervalos de corte entre 90 y 120 DDS resultan nuevamente los más adecuados, antes de que la acumulación de lignina comprometa significativamente la calidad del forraje.

4.5 Cenizas

El contenido de cenizas del pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) varió significativamente ($p < 0.05$) entre las diferentes frecuencias de corte, mostrando una disminución constante a medida que aumentaron los DDS, como se observa en la Figura 5. El valor más alto ($p < 0.05$) se registró en el corte de 30 DDS (12.2 %), mientras que los cortes de 120, 150 y 180 DDS presentaron los valores más bajos (4.7, 3.9 y 4.7 %, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$). El contenido de cenizas

disminuyó de manera marcada entre los 60 y 120 DDS, mostrando que la acumulación de biomasa reduce proporcionalmente la concentración de minerales totales en el tejido vegetal. Esta tendencia puede explicarse por la dilución de los elementos minerales debido al rápido crecimiento y a la deposición de tejidos estructurales con menor concentración de compuestos inorgánicos. Según Carvalho *et al.* (2020), en gramíneas tropicales la reducción del contenido de cenizas con la edad es resultado del incremento de la materia orgánica y de la disminución relativa de los componentes celulares solubles. De igual forma, Moraes *et al.* (2019) reportaron que en *Cenchrus purpureus* el contenido mineral disminuye drásticamente después de los 90 días de rebrote, atribuyéndolo a una menor tasa de absorción de nutrientes y a la redistribución de minerales hacia órganos reproductivos o estructurales.

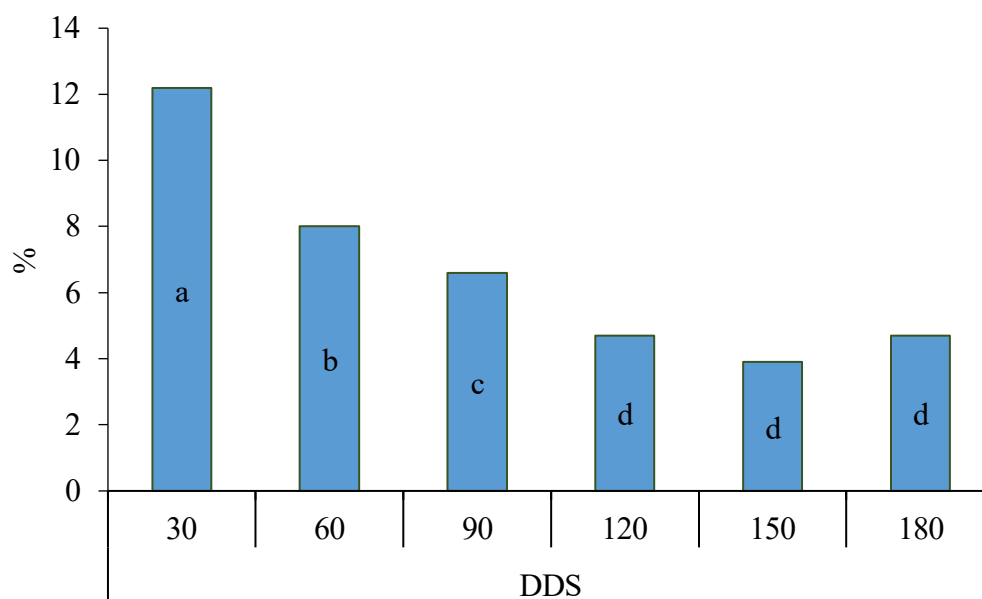


Figura 5. Porcentaje de cenizas en el pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) cosechado a diferentes frecuencias de corte. DDS= Días después de la siembra. Literales diferentes sobre las columnas de la gráfica indican diferencia significativa entre días de corte ($p < 0.05$).

Los valores obtenidos en este estudio son comparables con los reportados por Yousuf *et al.* (2023), quienes encontraron concentraciones de cenizas entre 4 y 13 % en cultivares tropicales de *Cenchrus purpureus* sometidos a diferentes frecuencias de corte. De manera similar, Adebayo *et al.* (2020) observaron que los contenidos de cenizas se reducen

significativamente ($p < 0.05$) a partir de los 90 días de crecimiento en pastos tropicales, lo cual coincide con el comportamiento registrado en este trabajo. El descenso progresivo de la fracción mineral confirma que el contenido de cenizas está estrechamente relacionado con la edad fisiológica de la planta. Los cortes tempranos aportan forraje con mayor concentración de minerales, adecuado para animales en crecimiento o en producción, mientras que los cortes tardíos, aunque más productivos en biomasa, presentan una menor densidad mineral. Por lo tanto, se recomienda mantener intervalos de corte entre 60 y 120 DDS, donde el contenido de cenizas aún se conserva en niveles adecuados sin afectar el rendimiento total del forraje.

V. CONCLUSIONES

El pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) presentó un comportamiento productivo y químico acorde con las gramíneas tropicales, mostrando un aumento del rendimiento de materia seca conforme avanzó la edad del rebrote. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los cortes tardíos, mientras que los cortes tempranos ofrecieron forraje de mejor calidad nutritiva en el contenido de proteína cruda y cenizas.

En conjunto, los resultados indican que los intervalos de corte entre 90 y 120 días después de la siembra permiten alcanzar un equilibrio adecuado entre rendimiento y calidad, favoreciendo una producción forrajera eficiente y nutritiva bajo condiciones tropicales.

VI. LITERATURA CITADA

- Adebayo, K., Ogunwole, O., y Adesina, B. (2020). Effects of cutting interval on yield and nutritional composition of tropical Napier grass (*Cenchrus purpureus*). *Tropical Animal Health and Production*, 52(5), 2429–2438. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.075>
- Adebayo, M. A., Aladejana, J. A., y Yusuf, A. O. (2020). Comparative evaluation of tropical grasses for ruminant feed and bioenergy potential. *African Journal of Agricultural Research*, 15(9), 1273–1282. <https://doi.org/10.3390/ani12141806>
- Aguilar, F. A., Pérez, H. R., y López, J. A. (2018). Comportamiento agronómico y valor nutritivo de gramíneas forrajeras tropicales bajo condiciones de corte y acarreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(4), 765–778. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-pecuarias>
- Aiyesa, O. (2023). Relative forage quality of *Cenchrus purpureus* as influenced by harvest age and plant spacing. *Journal of Tropical Forage Research*.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- ASTM International. (2013). Standard test method for ash in wood (ASTM D1102-84). ASTM International. West Conshohocken, PA.
- Borin, J. B., Nunes, R. V., y Oliveira, A. S. (2019). Structural carbohydrates and digestibility of tropical grasses harvested at different regrowth ages. *Grass and Forage Science*, 74(3), 456–467. <https://doi.org/10.1111/gfs.12429>
- Carvalho, M. V., Santos, M. R., y Rodrigues, A. P. (2020). Morphological and chemical characteristics of tropical forage grasses during regrowth. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49(e20200010), 1–10. <https://doi.org/10.37496/rbz4920200010>
- Chandrakanth, R., Nanjappa, V., Kumar, A., y Patel, M. (2023). Cell wall architecture and lignocellulosic biomass characterization of tropical C4 grasses under different management regimes. *Grass and Forage Science*, 78(2), 154–170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12607>
- De Dios-León, J., Torres, F., y López, M. (2021). Productividad y calidad de *Cenchrus purpureus* (Taiwán) bajo diferentes niveles de fertilización y frecuencia de corte. *Revista Científica Agroproductividad*, 14(5), 53–62. <https://doi.org/10.32870/agroproductividad.v14i5.2504>
- Franco, L., y Schultze-Kraft, R. (2005). Recursos forrajeros tropicales y su mejoramiento genético. CIAT, Cali, Colombia.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (4ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F.

- Ghimire, S., Habte, M., y Negawo, A. T. (2023). Influence of harvest age on biomass yield and nutritive value of *Cenchrus purpureus* cultivars under tropical conditions. *Frontiers in Agronomy*, 5(1123149), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1123149>
- Guerra-Medina, C. E., Villanueva, L. F., y Ramírez, O. (2021). Evaluación agronómica y composición química de pastos tropicales bajo diferentes frecuencias de corte. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, 9(2), 145–156. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(9\)145-156](https://doi.org/10.17138/TGFT(9)145-156)
- Habte, M., Negawo, A. T., Teshome, A., Hanson, J., y Mutimura, M. (2022). Performance and nutritive value of improved Napier grass (*Cenchrus purpureus*) cultivars under tropical management conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 290, 115375. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115375>
- Hatfield, R. D., Jung, H. J. G., Ralph, J., Buxton, D. R., y Weimer, P. J. (2017). A comparison of the cell wall composition and structure of grasses and dicots related to digestibility. *Crop Science*, 57(1), 23–41. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0185>
- INIFAP. (2019). Catálogo de tecnologías para la ganadería tropical mexicana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- INIFAP. (2024). Manejo y aprovechamiento de forrajes tropicales en sistemas bovinos doble propósito. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- INIFAP. (2025). Guía técnica para el manejo de forrajes tropicales: *Cenchrus purpureus* (Taiwán, Cuba CT-115 y King Grass). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- Islam, M., Roy, R., y Negawo, A. (2023). Morphological diversity and adaptability of improved *Cenchrus purpureus* cultivars in tropical environments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(3), 457–468.
- Kumar, S., Singh, S., y Bhatia, S. K. (2020). Cell wall composition and its relationship with maturity in tropical forage grasses. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10(3), 621–632. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00471-y>
- Medrano-Escobar, A. R., *et al.* (2024). Nutritive quality of *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone cv. Cuba CT-115 under edaphoclimatic conditions of Honduras. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 58.
- Moraes, R. F., Vieira, H. D., y Pereira, R. (2019). Growth stage effects on chemical composition and digestibility of *Cenchrus purpureus* cultivars. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(3), 181–192. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n3a04>
- Pauly, M., y Keegstra, K. (2016). Biosynthesis of plant cell wall polysaccharides: A complex process controlled by multiple enzyme systems. *Plant Physiology*, 172(4), 2070–2082. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01167>

- Ralph, J., Lapierre, C., y Boerjan, W. (2019). Lignin structure and its engineering for efficient biofuel production. *Plant Physiology*, 179(4), 1359–1376. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01271>
- Ramos, J. P. F., Nascimento, F. R., y Silva, D. J. (2021). Cell wall components and nutritive value of tropical grasses as influenced by cutting age. *South African Journal of Animal Science*, 51(5), 643–653. <https://doi.org/10.4314/sajas.v51i5.8>
- Ríos, D. A., Valdés, G., Martínez, J., y Hernández, E. (2022). Characterization of lignocellulosic composition and energy potential of tropical grasses cultivated in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 931–948. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3311>
- Roy, R., Islam, M., y Habte, M. (2025). Nutritional and agronomic performance of *Cenchrus purpureus* genotypes in tropical livestock systems. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, 13(1), 45–58. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(13\)45-58](https://doi.org/10.17138/TGFT(13)45-58)
- SAS Institute Inc. (2012). SAS/STAT® 9.3 User’s Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Silva, L. F. P., Siqueira, G. R., Reis, R. A., y Bernardes, T. F. (2020). Chemical composition, digestibility and energy characteristics of tropical grasses for ruminant nutrition and bioenergy use. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10(3), 587–598. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00452-1>
- TAPPI. (1991). Acid-insoluble lignin in wood and pulp (TAPPI T 222 om-88). Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI Press). Atlanta, GA.
- TARI (Taiwan Agricultural Research Institute). (2023). Development and evaluation of high-yielding *Cenchrus purpureus* cultivars for tropical livestock systems. Taichung, Taiwán.
- Vallejo, R., López, H., y Pérez, E. (2015). Evaluación de la respuesta agronómica del *Pennisetum purpureum* a la fertilización nitrogenada en condiciones tropicales. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 7(2), 211–221.
- Ventura-Ríos, J., Honorato Salazar, J. A., Hidalgo, F. A., Barrera Martínez, I., Aburto Anell, J. A., y 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. [https://doi.org/10.17138/tgft\(10\)22-31](https://doi.org/10.17138/tgft(10)22-31)
- Yousuf, M. B., Bello, S. A., y Sodiq, A. (2023). Effect of harvest interval on yield, fibre composition, and nutritive value of improved Napier grass (*Cenchrus purpureus*). *Grassland Science*, 69(2), 105–117. <https://doi.org/10.1111/grs.12368>
- Zhang, Y., Li, X., y Zhou, W. (2024). Structural features and biochemical characteristics of cell wall components in tropical forage grasses. *Industrial Crops and Products*, 211, 117097. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.117097>
- Zhong, R., y Ye, Z. H. (2015). Secondary cell walls: Biosynthesis, patterned deposition and transcriptional regulation. *Plant and Cell Physiology*, 56(2), 195–214. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu140>

VII. ANEXOS

Cuadro 2. Rendimiento y Composición química de la biomasa del pasto *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone, cosechado a diferentes frecuencias de corte.

Variable	Frecuencia de corte (DDS)						Promedio	EEM
	30	60	90	120	150	180		
	Rendimiento							
Kg MS ha ⁻¹	10164 ^d	10492 ^{cd}	13953 ^c	18815 ^b	18236 ^b	38483 ^a	18357	912
	Compc nente (%)							
Celulosa	38.3 ^b	37.6 ^b	42.8 ^a	42.7 ^a	43 ^a	41.3 ^a	41	2.4
Hemicelulosa	33 ^{ab}	34.5 ^a	29 ^c	31.6 ^{abc}	29 ^c	30 ^{bc}	31	2.9
Proteína Cruda	10.5 ^a	6.4 ^b	4.5 ^c	3.5 ^{cd}	2.6 ^d	3.5 ^{cd}	5.2	2.7
Lignina	17.7 ^c	16.8 ^c	19.6 ^b	19.7 ^b	21 ^a	20.9 ^a	19	1.7
Cenizas	12.2 ^a	8 ^b	6.6 ^c	4.7 ^d	3.9 ^d	4.7 ^d	6.7	2.8

Diferente literal en la misma fila, indican diferencias significativas entre días de corte ($p < 0.05$).

EEM = Error Estándar de la Media.