

# TATASCÁN



## Adaptabilidad, densidad y potencial energético de tres especies gramíneas del género *Pennisetum* en San Francisco de la Paz, Olancho

### Adaptability, density and energy potential of three grass species of the genus *Pennisetum* in San Francisco de la Paz, Olancho

**Como citar:** Rodríguez Estrada, C. A., Girón Cano, F. M., & Ochoa Cervantez, D. O. (2024). Adaptabilidad, densidad y potencial energético de tres especies gramíneas del género *Pennisetum* en San Francisco de la Paz, Olancho. *TATASCÁN*, 32(1), 30–39. <https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19457>

<https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19457>

Recibido 27/07/2024 Aceptado 25/10/2024

#### Carlos Armando Rodríguez Estrada



<https://orcid.org/0009-0004-0405-2008>

Investigador independiente

[carlosarmandore5@gmail.com](mailto:carlosarmandore5@gmail.com)

#### Dani Oved Ochoa Cervantes

<https://orcid.org/0000-0002-7707-9461>

Universidad Nacional de Ciencias Forestales

[d.ochoa@unacifor.edu.hn](mailto:d.ochoa@unacifor.edu.hn)

#### Farah Marcela Girón Cano

<https://orcid.org/0000-0003-2017-9098>

Universidad Nacional de Ciencias Forestales

[f.giron@unacifor.edu.hn](mailto:f.giron@unacifor.edu.hn)

#### Resumen:

El uso de la biomasa puede llegar a contribuir con ventajas en el campo energético y ambiental, las especies de fácil manejo y buena producción suelen tener buenas perspectivas para el campo energético. Este estudio buscó, determinar la adaptabilidad, densidad y potencial energético de tres especies gramíneas del género *Pennisetum* en San Francisco de la Paz, Olancho. Se estableció una plantación con el método de bloques completos al azar con las variables de tres especies y tres espaciamientos, para lo cual se hicieron tres repeticiones por combinación, lo que resultó en 27 parcelas. Se obtuvo que la especie Camerún morado (*P. purpureum*) es la que mejor características energéticas y de adaptación tiene, con crecimientos promedios de 2.94 metros de altura, una producción de biomasa superior a las 250 ton/ha y un poder calorífico superior de 3574 kcal/kg con un porcentaje de 9% de humedad lo que deja en evidencia las excelentes condiciones energéticas que esta especie posee. Aún con diferencias entre las especies y sus condiciones energéticas, se concluye que estas pueden ser utilizadas, como base de la producción energética a partir de biomasa.

**Palabras clave:** Biomasa, *Pennisetum*, plantación, características energéticas, energía.

#### Abstract:

The use of biomass can contribute to advantages in the energy and environmental fields. Species that are easy to manage and have good production potential often have promising prospects in the energy sector. This study aimed to, determining the adaptability, density, and energy potential of three grass species of the genus *Pennisetum* in San Francisco de la Paz, Olancho. A plantation was established using the random complete block method with three species and three spacings as variables, with three repetitions for each combination, resulting in 27 plots. It was found that the Purple Cameroon species (*P. purpureum*) has the best energy and adaptation characteristics, with average heights of 2.94 meters, biomass production exceeding 250 tons/ha, and a higher calorific value of 3574 kcal/kg with a 9% moisture content, highlighting the excellent energy potential of this species. Despite differences between species and their energy conditions, it is concluded that they can be used as a basis for biomass-based energy production.

**Keywords:** Biomass, *Pennisetum*, plantation, energetic characteristics, energy



---

## Introducción

El uso de biomasa para la generación de energía eléctrica, es una de las más nuevas alternativas relativamente limpias para la generación eléctrica, para 2015 en Honduras más de 1 millón de hogares dependían de la leña como fuente de energía (Ludeña et al., 2015), por lo cual es una constante muy notoria el uso doméstico de la biomasa en Honduras. La industria de la dendroenergía es un campo nuevo en el que se utiliza biomasa de distintas procedencias, por lo cual el estudio de las especies de rápido crecimiento ha aumentado, intentando obtener mejores resultados de producción a partir de nuevas especies aun no estudiadas. "Una de las mayores desventajas que tiene la biomasa es que puede poner en riesgo las zonas forestales, (Álvarez, 2021, párr. 5), debido al crecimiento de este mercado hay una influencia grande por tener fuentes de abastecimiento constante por lo cual los bosques pueden verse afectados. De ahí procede la importancia de introducir nuevos cultivos de corta rotación para el uso energético, el tener una fuente constante de abastecimiento sin poner en riesgo las zonas naturales del país es la base de la biomasa como energía renovable.

En este orden de ideas, "el interés medioambiental de la biomasa reside en que, siempre se obtenga de una forma renovable y sostenible, es decir que el consumo no vaya a más velocidad que la capacidad del bosque, la tierra, etc. para regenerarse" (Longar Blanco et al., 2005, p. 31), la biomasa tiene muy buenas perspectivas ambientales siempre y cuando este mercado se comporte de forma responsable. Los pastos de corte para ganadería son especies forrajeras con características de crecimiento y producción de volumen muy buenas, por lo cual pueden tener un uso importante en la generación de biomasa, aún no han sido estudiadas con fines energéticos. Según datos de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras, el país consume 1,200 a 1600 MW de energía eléctrica, de estos el 11.6% proviene de la biomasa y este porcentaje sigue al alza, por lo cual es de suma importancia generar nuevas fuentes de abastecimiento para poder suplir la demanda nacional.

Los pastos de corte con un uso comercial especialmente para alimentación de ganado bovino, tienen características excelentes de propagación, rápido crecimiento, buen rendimiento de volumen por unidad de superficie y capacidad de rebrote, condiciones ideales para estudiarlas y considerarlas como especies que puedan ser utilizadas en el campo energético. Basado en la información anterior la siguiente investigación busca abordar la respuesta a la siguiente interrogante; ¿Son los pastos para ganadería especies con un uso potencial en el campo energético?, analizando más a profundidad sus características físicas y químicas, en base a las cualidades principales que se pueden obtener de estas plantaciones en un uso agrícola, se espera un resultados con los cuales responder la incógnita del el uso potencial de estos pastos en la producción de biomasa para generar energía.

## Materiales y métodos

**Diseño:** Al tener tres especies distintas y considerando evaluar la densidad como factor relevante, el diseño experimental se utilizó un diseño en bloques completos al azar con repeticiones de medida en el tiempo. "Este diseño está basado en los principios de aleatorización y repetición, se utiliza cuando no existe necesidad de realizar control local, debido a las condiciones homogéneas, la asignación de las unidades se da aleatoria completa sin ninguna restricción de las unidades experimentales" (López & González, 2014).

El diseño considera el efecto de un factor por bloques que a su vez están constituidos por tratamientos, en este caso con las variables de especies y tratamiento de densidad se rellenaron los bloques, teniendo tres especies y tres densidades, por lo cual las combinaciones posibles son 9 por bloque, teniendo 3 bloques para un total de dos repeticiones por combinación, lo que resultaría en 27 pruebas de parcelas y obteniendo 2 medidas en dos ciclos de crecimiento, lo cual resultó en un total de en 81 datos de producción para hacer el análisis de varianza estadístico.

Las densidades utilizadas en base con lo establecido por Carreño (2018) y Virola (2019) que mencionan que estas especies fueron cultivadas entre los 60 y 90 cm de distanciamiento entre sí, y queriendo evaluar la densidad alta como factor de importancia en la producción de altos niveles de biomasa, las densidades utilizadas fueron las siguientes: T1: 50 x 50 cm, T2: 45 x 45 cm y T3: 40 x 40 cm, a continuación se describe el trabajo de campo realizado.

**Preparación de suelo:** se realizó una remoción del terreno a plantar con maquinaria de arado a 15 cm de profundidad ya que la siembra fue manual y se dice que para estacas de pastos la profundidad recomendada es de 10 cm o 4 nudos para aumentar la propagación (Contexto ganadero, 2016, párr. 2), además que la mecanización del suelo sirve para remover la capa principal del suelo y no forzar el clavado de la estaca, dicha actividad se desarrolló el 2 de septiembre de 2022. Recolección y preparación el material genético: un día antes de la siembra se cortaron las estacas principales según lo establecido para cada especie, se priorizo los matones superiores con mejores características de grosor y altura, para aumentar la probabilidad de propagación, el material genético se consiguió en las ganaderías locales de Olancho.

**Realizar la siembra:** se llevó a cabo la siembra, dicha actividad se realizó el 30 de septiembre del 2022. La siembra se realizó de manera manual utilizando una piocha con la que se hizo una pequeña abertura de unos 10 cm para que la estaca entrara con facilidad y no se viera forzada y por tanto no se dañara. En total se sembraron 1863 estacas de cada especie resultando un total de 5,598 estacas sembradas en 27 parcelas de 6m x 6m.

**Repoblación:** una vez las especies empezaron a germinar, se realizó una inspección en campo para conocer el porcentaje de germinación de las parcelas y se repobló en aquellos lugares en donde las especies no se propagaron con éxito, esta repoblación se llevó a cabo en los 15-20 días después de la siembra.

**Primera corta:** cuando las parcelas llegaron a su madurez (cerca de los 4 meses) se realizó la primera corta total de la plantación, dicha corta se realizó de manera manual con ayuda de un machete dejando tocones de 10 cm para que las especies rebrotaran sin problemas y tomando medidas de altura, peso, humedad. Toda la biomasa recogida en la corta fue inmediatamente chipeada con maquinaria especializada. Proceso de secado de la materia: usando el método de deshidratación natural, que, según (Montejo-Sierra et al., 2018) "se colocan al sol las muestras sobre una superficie asfaltada, desde las 9:00 a.m. hasta las 4:00 p.m.; a partir de esta hora y durante toda la noche se dejaban bajo techo en un lugar cerrado". Se tomo la muestra de un metro cuadrado de cada especie y esta fue la biomasa que se precedió a secar.

**Manejo de rebrotes:** después de la primera corta (cuatro meses después de la siembra) se observó y controló el rebrote, "esta técnica se da en aquellas especies que tienen capacidad de rebrotar como el eucalipto, aliso blanco, quishuar, colle, gañal, etc, (Proaño et al., 2021). El fin de la actividad es asegurar el correcto crecimiento de la nueva planta con actividades principalmente relacionadas con limpieza del alrededor de los tocones. Segunda corta: se realizó la segunda corta el 18 de julio, con la misma metodología que en la primera, un corte total de la biomasa con ayuda de un machete, siempre dejando tocones de 10 cm y volviendo a tomar datos de interés. Segundo proceso de secado de materia verde: con el mismo procedimiento del primero proceso, siempre considerando 1 metro cuadrado de cada una de las especies y así poder recolectar la información necesaria. Realización un nuevo manejo de rebrotes: bajo las especificaciones ya establecidas.

## Resultados

**Germinación:** en las tres especies evaluadas en los distintos tratamientos se obtuvo un valor mínimo de germinación del 92.06% de la especie Maralfalfa y un valor máximo de 97.14% para la especie Camerún morado, los datos obtenidos de las 27 parcelas con respecto a la germinación de las combinaciones posibles estuvieron en este rango, los resultados se plasmas en la tabla 1.

**Mortalidad:** además de la mortalidad presentada en germinación no ubo más muertes, la especie una vez establecida es muy resistente, se evitó la competencia con malezas durante los primeros meses de desarrollo de los individuos y no existió presencia de plagas. Crecimiento: Según lo establecido por Virola (2019), Rojas & Suárez (2023) y Pilatásig & Choloquina (2011), para las especies Camerún morado y Cuba-22, los rangos de altura obtenidos en los tres tratamientos son los que se obtienen en condiciones normales para estas especies, por tanto, crecieron sin mayores problemas. Por otro lado, la especie Maralfalfa fue la que menos se desarrolló, en el tratamiento de menos densidad no alcanzo el crecimiento mínimo establecido para dicha especie. Fase vegetativa: considerando principalmente la formación de tallos la cual no se vio afectada en ninguna de las especies, además, considerando que la especies permanecieron en campo dos meses más de lo habitual por las condiciones meteorológicas, se formaron tallos gruesos y fuertes, y se presentó un crecimiento normal de las hojas.

**Tabla 1**  
*Germinación y mortalidad en la generación por especie.*

	Siembra	Plantas germinadas	% de germinación	Mortalidad	% de mortalidad
<b>Camerún</b>					
T1	507	485	95.66	22	4.34
T2	588	557	94.73	31	5.27
T3	768	746	97.14	22	2.86
<b>Cuba-22</b>					
T1	507	482	95.07	25	4.93
T2	588	557	94.73	31	5.27
T3	768	744	96.88	24	3.13
<b>Maralfalfa</b>					
T1	507	482	95.07	25	4.93
T2	588	567	96.43	21	3.57
T3	768	707	92.06	61	7.94



## Crecimiento de las plantaciones en distintas densidades

El género *Pennisetum* es reconocido como gran fuente de producción forrajera para alimentación de ganado, por lo cual la mayoría de las investigaciones acerca de este género se centran en como aumentar los rendimientos productivos principalmente con variaciones genéticas o con fertilización química. Como parte de la investigación es de suma importancia conocer como responden las especies a espaciamientos de siembra más reducidos en comparación a los que se utilizan normalmente para fines agrícolas.

Siendo el espaciamiento uno de los puntos claves de la producción de biomasa con fines dendroenergéticos, se creó el diseño en donde se evalúan tres densidades para cada una de las especies, obteniendo así los resultados siguientes:

### Camerún morado (*Pennisetum purpureum*)

- Primer ciclo de crecimiento

**Tabla 2**

*Crecimiento Camerún morado (*Pennisetum purpureum*) durante el primer ciclo de cosecha*

Tratamiento	15 días (m)	30 días (m)	90 días (m)	Día de la corta (200 días) (m)
<b>T1 (50x50)</b>	0.52	0.78	1.83	2.84
<b>T2 (45X45)</b>	0.50	0.81	1.87	2.93
<b>T3 (40X40)</b>	0.49	0.75	1.69	2.8

- Segundo ciclo de crecimiento

**Tabla 3**

*Crecimiento Camerún morado (*Pennisetum purpureum*) durante el segundo ciclo de cosecha*

	Día 30 (m)	Día 102 (m)
<b>T1 (50x50)</b>	0.7	3.09
<b>T2 (45x45)</b>	0.75	2.89
<b>T3 (40x40)</b>	0.69	2.94

El Camerún morado en los tres tratamientos presento un crecimiento normal según la información consultada respecto a la especie, al establecerla en diferentes densidades se demostró un comportamiento distinto para cada densidad, en el primero ciclo (tabla 2) los crecimientos menores y más tardados en relación al segundo ciclo (tabla 3)

### Cuba-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*)

- Primer ciclo de crecimiento

**Tabla 4**

*Crecimiento primer ciclo de la especie Cuba-22 (*P. purpureum* x *P. glaucum*)*

Tratamiento	15 días (m)	30 días (m)	90 días (m)	Día de la corta (200 días) (m)
<b>T1 (50x50)</b>	0.59	0.79	1.7	2.6
<b>T2 (45X45)</b>	0.60	0.82	1.75	2.83
<b>T3 (40X40)</b>	0.51	0.76	1.78	2.76

- Segundo ciclo de crecimiento

**Tabla 5**

*Crecimiento segundo ciclo de la especie Cuba-22 (*P. purpureum* x *P. glaucum*)*

Tratamiento	15 días (m)	30 días (m)	90 días (m)	Día de la corta (200 días) (m)
<b>T1 (50x50)</b>	0.59	0.79	1.7	2.6
<b>T2 (45X45)</b>	0.60	0.82	1.75	2.83
<b>T3 (40X40)</b>	0.51	0.76	1.78	2.76

El Cuba-22 una especie con mucha resistencia, creció en valores dentro del rango para lo investigado con esta especie. Hubo una diferencia como se puede notar en la tabla 4 y 5 muy notoria entre los tratamientos, y los crecimientos de los dos ciclos son similares para esta especie.

### Maralfalfa (*Pennisetum americanum*)

- Primer ciclo de crecimiento

**Tabla 6**

*Crecimiento en el primer ciclo de la especie Maralfalfa (*Pennisetum americanum*)*

Tratamiento	15 días (m)	30 días (m)	90 días (m)	Día de la corta (200 días) (m)
T1 (50x50)	0.48	0.7	1.62	2.56
T2 (45x45)	0.48	0.72	1.65	2.63
T3 (40x40)	0.47	0.68	1.48	2.38

- Segundo ciclo de crecimiento

**Tabla 7**

*Crecimiento en el segundo ciclo de la especie Maralfalfa (*Pennisetum americanum*)*

	Día 30 (m)	Día 102 (m)
T1 (50x50)	0.7	2.4
T2 (45x45)	0.69	2.38
T3 (40x40)	0.66	2.32

Con la especie Maralfalfa los datos obtenidos de crecimiento fueron los más bajos de las tres especies, en el primer ciclo (tabla 6) los rendimientos en crecimiento fueron mejores en comparación a los del segundo ciclo (tabla 7).

**Determinación del potencial energético de cada una de las especies:** además de las variables relacionadas a la silvicultura y al desarrollo de las especies en campo, hay ciertas variables propias de cada especie que no se pueden cambiar, como lo son su poder calorífico, su contenido químico y su humedad, además de otra variable importante que es su producción de biomasa.

**Poder calorífico:** Las pruebas de poder calorífico se realizaron en el laboratorio de química de la empresa Honduran Green Power Corporation S.A. de C.V. (HGPC), en donde se enviaron muestras pulverizadas y secas de la biomasa de los tres tipos de zacates estudiados, dejando así los siguientes resultados de las pruebas que se expresan en la tabla 8:

**Tabla 8**

*Resultados de las pruebas de poder calorífico*

Especie	Peso prueba (gr)	% Humedad	Kcal/kg recibido		% ceniza	Inferior	Kcal/kg Seco Superior
			Inferior	Superior			
Camerún	0.5905	9.4%	3,240	3,574	7.20%	3,240	3,945
Cuba	0.474	9.2%	3,215	3,548	7.15%	3,599	3,908
Maralfalfa	0.7581	9.7%	3,342	3,677	4.74%	3,763	4,072

**Producción de biomasa:** uno de los parámetros más importantes en el establecimiento de las plantaciones es cuanto materia genera dicha plantación, uno de los principales factores del aumento de producción de biomasa por unidad de superficie, es el espaciamiento, la disminución del espaciamiento en la investigación se basa en un propósito, el cual es producir más biomasa por hectárea. Es de importancia tener en cuenta que las condiciones a las cuales se sometió la plantación no fueron fertilizadas y no contaron con las condiciones climáticas optimas.

Para los tratamientos establecidos por especie se obtuvieron los siguientes datos de campo:

### Camerún morado (*Pennisetum purpureum*)

- Primer ciclo de cosecha



**Tabla 9***Producción de biomasa del primer ciclo obtenida del Camerún morado (P. purpureum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	44	23	253.53
<b>T2 (45X45)</b>	48	24.7	272.27
<b>T3 (40X40)</b>	46	23.1	254.63

- Segundo ciclo de cosecha

**Tabla 10***Producción de biomasa del primer ciclo obtenida del Camerún morado (P. purpureum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	84	31.4	346.12
<b>T2 (45X45)</b>	76	24.21	266.87
<b>T3 (40X40)</b>	79	25.23	278.11

Virola (2019), establece un rango de producción de 150 a 250 ton/ha con distintos periodos de corta y en condiciones de fertilización. A pesar de que las condiciones no eran ideales para la plantación en el primer ciclo (tabla 9), en todos los tratamientos se superó el rango de rendimiento para la especie. Y para el segundo ciclo (tabla 10) los rendimientos fueron superiores en comparación a los resultados del primer ciclo.

**Cuba-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*)**

- Primer ciclo de cosecha

**Tabla 11***Producción de biomasa obtenida en el primer ciclo de Cuba-22 (P. purpureum x P. glaucum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	43	14.6	160.93
<b>T2 (45X45)</b>	48	16.15	178.02
<b>T3 (40X40)</b>	46	14.52	160.05

- Segundo ciclo de cosecha

**Tabla 12***Producción de biomasa obtenida en el segundo ciclo de Cuba-22 (P. purpureum x P. glaucum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	67	21.45	236.44
<b>T2 (45X45)</b>	69	21.5	236.99
<b>T3 (40X40)</b>	75	24.31	267.97

El Cuba-22, es reconocida en el ámbito ganadero por su gran contenido de nutrientes y alta digestibilidad para el ganado y no por su producción de materia. Esto debido a que la importancia de este pasto reside en sus características nutritiva y no es su producción. Maldonado-Peralta et al (2019), mencionan un rango de 70-160 ton/ha. Obteniendo en esta investigación resultados superiores en el segundo ciclo de cosecha (tabla 12).

**Maralfalfa (*Pennisetum americanum*)**

- Primer ciclo de cosecha

**Tabla 13***Producción de biomasa obtenida en el primer ciclo de Maralfalfa (P. americanum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	59	15.1	166.45
<b>T2 (45X45)</b>	47	13.5	148.81
<b>T3 (40X40)</b>	51	13.6	149.91

- Segundo ciclo de cosecha

**Tabla 14**

*Producción de biomasa obtenida en el segundo ciclo de Maralfalfa (P. americanum)*

	Vástagos	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad (ton/ha)
<b>T1 (50x50)</b>	76	27.2	299.82
<b>T2 (45x45)</b>	69	24.2	266.75
<b>T3 (40x40)</b>	70	23.6	260.14

La especie con menores rendimientos obtenidos fue el Maralfalfa, Pilatásig & Choloquina (2011), mencionan un rango de 180-250 ton/ha. El tratamiento con el valor más alto obtenido fue el de 50x50 con una producción de 166.45 ton/ha, muy por debajo de lo establecido para esta especie.

**Humedad:** el porcentaje de humedad hace referencia al contenido de agua que puede tener cierta materia, el uso de la biomasa como combustible según lo dicho por Perdices (2008), se puede clasificar según su humedad en dos tipos:

Biomasa humedad, aquella biomasa con un porcentaje superior al 60% de humedad utilizada para procesos físicos (pellets, briquetas, entre otros) y procesos fermentativos y Biomasa seca, aquella con humedad inferior al 60% utilizada en procesos termoquímicos (combustión, gasificación, pirólisis).

Como suministro de biomasa para procesos termoquímicos especialmente para la combustión, Salvador (2010) menciona que la humedad para que una caldera siga siendo eficiente debe rondar 35% como máximo valor, aunque cada caldera puede reaccionar de distinta manera, en la tabla 15 se muestra la relación peso humedad para estas especies.

**Tabla 15**

*Relación peso-humedad*

	Día 0	1 día	2 día	3 día
<b>Camerún morado</b>				
% Humedad	89.1	53.3	14.7	9.2
Peso (Ton)	241	140	105	80.5
<b>Cuba-22</b>				
% Humedad	89.3	22.4	12.3	6.6
Peso (Ton)	161.5	90	67	51
<b>Maralfalfa</b>				
% Humedad	87.9	44.7	11.7	5.3
Peso (Ton)	151	108	93	72

**Contenidos químicos de las especies:** en base a las características de la biomasa surgió la familia de normas ISO 17225-2014, referente a **“Biocombustibles sólidos”**, en donde se hace una clasificación de los tipos de biomásas sólidas y las características que estas deben tener, en base a esta familia de normas, se tomó como referencia la ISO 17225-2014 parte 1, que habla sobre “Especificaciones y clases de combustibles y sus requisitos generales”; para conocer los parámetros químicos aceptados por esta norma y así poder comparar con los contenidos químicos de obtenidos de las especies. Con base a esto los parámetros establecidos por la norma ISO 17225-2014, las especies cumplen con estas condiciones químicas aceptadas por la norma. Expresando estos resultados en la tabla 16:



**Tabla 16**

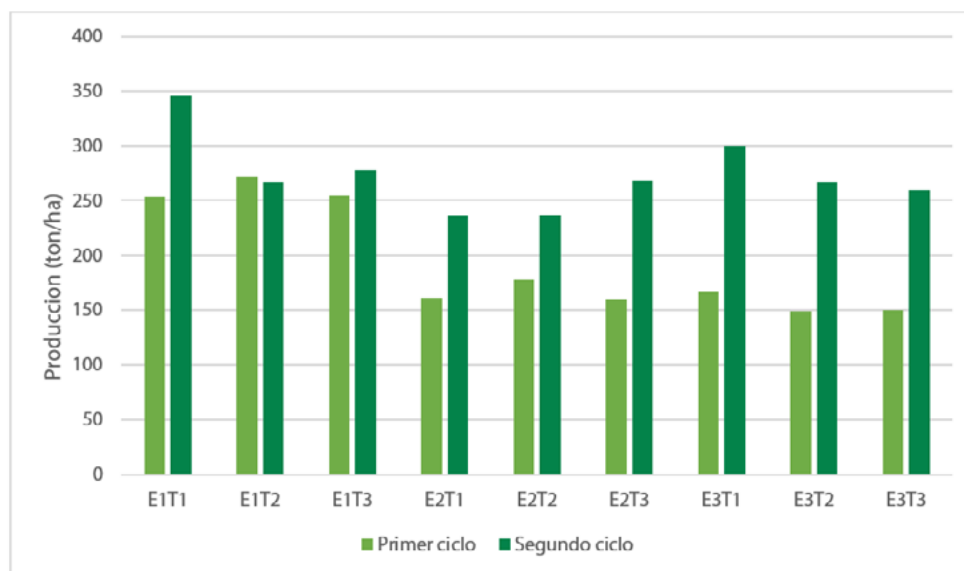
Comparación de los contenidos químicos de las especies y los rangos aceptados por la norma ISO 17225-2014 parte 1

Elemento	Camerún Morado	Cuba-22	Maralfalfa	Rango ISO
<b>Nitrógeno (N)</b>	0.98 %	0.93 %	0.93 %	1 a 2 %
<b>Fosforo (P)</b>	0.20 %	0.28 %	0.26 %	0.30 a 2.5 %
<b>Potasio (K)</b>	2.11 %	2.30 %	2.40 %	0.49 a 2.4 %
<b>Calcio (Ca)</b>	0.44 %	0.48 %	0.44 %	0.35 a 0.55 %
<b>Magnesio (Mg)</b>	0.16 %	0.14 %	0.15 %	0.08 a 0.23 %
<b>Azufre (S)</b>	0.08 %	0.08 %	0.07	0 a 0.5 %
<b>Hierro (Fe)</b>	0.007 %	0.0056 %	0.006 %	0.01 a 0.12 %
<b>Manganeso (Mn)</b>	0.0039 %	0.0030 %	0.0026 %	0.02 a 0.26
<b>Cobre (Cu)</b>	0.0006 %	0.0008 %	0.0008 %	< 0.001 %
<b>Zinc (Zn)</b>	0.0024 %	0.0025 %	0.0025 %	< 0.006 %

### 3.5 Comparación de los resultados de cada ciclo

**Figura 2**

Comparación de los resultados de producción de biomasa de los ciclos



Donde;

E1: *Pennisetum purpureum*E2: *P. purpureum* x *P. glaucum*E3: *P. americanum*

### Discusión

Los resultados obtenidos del estudio de la determinación de la adaptabilidad, densidad y potencial energético de tres especies gramíneas del género *Pennisetum*, fueron resultados muy alentadores sobre el uso potencial de estas especies en el campo dendroenergético. La adaptación al sitio fue muy satisfactoria en especial para la Camerún morado (*Pennisetum purpureum*) y Cuba-22 (*P. purpureum* x *P. glaucum*), que tuvieron un porcentaje de germinación de 95.84% y 95.56% respectivamente, siendo la especie Maralfalfa (*Pennisetum americanum*) con el porcentaje más bajo, 94.52% de germinación. El crecimiento se da según lo establecido por Virola (2019), Maldonado-Peralta et al. (2019) y Pilatásig & Choloquina (2011), que mencionan los rangos crecimientos de dichas especies en condiciones ideales, los resultados obtenidos en campo de la primera cosecha durante la investigación dejan en evidencia que las tres especies que se manejaron en los distintos tratamientos cumplieron con los rangos de crecimientos establecidos anteriormente, siendo la especie Maralfalfa (*Pennisetum americanum*) la que menores crecimientos presentó. Para la segunda cosecha algunos de los crecimientos fueron más bajos, más sin embargo se lograron alturas similares en un turno de rotación de 100 días menos, esto debido a mejores condi-



---

ciones climáticas. Por ende, comparando con la información consultada en fuentes científicas, las especies se adaptaron y desarrollaron sin mayor problema pese a las condiciones de establecimiento.

Las características energéticas que se estudiaron proporcionaron datos de gran relevancia sobre las especies en cuestión. Entre estas, destacan el poder calorífico y el contenido de cenizas, dos aspectos cruciales en la evaluación de su idoneidad como fuentes de biomasa. Los resultados de estos análisis resultaron sumamente alentadores, especialmente al compararlos con los de otra especie de la misma familia que ya se encuentra establecida en el ámbito de la dendroenergía, el King Grass (*P. purpureum* x *P. Typhoides*). Este último se caracteriza por un poder calorífico en base seca de 4,411.72 kcal/kg y un contenido de cenizas del 9.35%, según el estudio de Rodríguez & Romero (2017).

Los resultados de las pruebas de laboratorio se detallan a continuación, el poder calorífico superior de las especies Camerún morado (*P. purpureum*), Cuba-22 (*P. purpureum* x *P. glaucum*) y Maralfalfa (*P. americanum*) se situó en 3,945 kcal/kg, 3,908 kcal/kg y 4,072 cal/kg, respectivamente, con porcentajes de cenizas de 7.20%, 7.15% y 4.74%. Si bien es cierto que estos poderes caloríficos son menores en comparación con el King Grass (*P. purpureum* x *P. Typhoides*), para esta especie se presenta un rango de producción de biomasa de 150 toneladas por hectárea (Rodríguez & Romero, 2017). Es relevante señalar que los resultados de producción de la primera cosecha en la investigación en su mayoría superan los datos de producción del King Grass (*P. purpureum* x *P. Typhoides*), y aquellos que no lo superan se encuentran muy cerca de igualarlos. Y es importante considerar que en la segunda cosecha se observa un incremento significativo en la producción de biomasa, lo que arroja resultados aún mejores para las especies investigadas.

El análisis químico de la biomasa es un aspecto fundamental al considerar para su uso como combustible, ya que las propiedades químicas de la biomasa pueden tener un impacto significativo en el funcionamiento de una caldera y sus componentes. Por lo tanto, se llevó a cabo un estudio químico detallado con el fin de evaluar las características químicas de la biomasa. Para establecer un marco de referencia, se compararon los resultados obtenidos con los estándares definidos en la norma ISO 17225-2014 parte 1. Este análisis demostró que los elementos estudiados en las pruebas químicas cumplen con los requisitos estipulados por la norma ISO 17225-2014.

En base a lo anterior y analizando los resultados de adaptación, crecimiento y propiedades energéticas, se puede observar una diferencia existente entre las características de importancia para cada especie y con base a esto poniendo énfasis principalmente a resultados de crecimiento, rendimiento y cualidades químicas; se define que la especie Camerún morado (*P. purpureum*) es la especie que generó los mejores resultados de relevancia en esta investigación.

Finalmente, el estudio dejó en evidencia, que las especies Camerún morado (*P. purpureum*) y Cuba-22 (*P. purpureum* x *P. glaucum*), aun considerando un poder calorífico inferior, pueden llegar a tener un uso dendroenergético al igual que el King Grass (*P. purpureum* x *P. Typhoides*), especialmente por las características de adaptación, producción y porcentaje de cenizas que los resultados de las pruebas en estas especies mostraron.

## Conclusiones

En virtud de los datos obtenidos en campo, se puede concluir que las especies estudiadas pueden adaptarse sin mayores problemas a condiciones climáticas secas, sin variar mucho su prendimiento y su desarrollo, estableciéndose de manera exitosa en condiciones poco óptimas. Responden muy bien a situaciones con poca agua y sin fertilización, por lo cual se puede asegurar que la adaptación de estas especies estudiadas resultó ser de una manera positiva.

Dentro del análisis de la variable de densidad, se puede concluir que el crecimiento no se ve afectado conforme al aumento de los espaciamientos de corta para estas especies, sin embargo el aumento excesivo del distanciamiento de siembra puede perjudicar en el desarrollo de estas. Como se vio para la especie Maralfalfa (*Pennisetum americanum*) la cual, en el tratamiento de máxima densidad, su crecimiento no alcanzó el mínimo establecido para la especie, sin embargo, las especies responden muy bien a las densidades cortas.

Los resultados obtenidos de las condiciones energéticas (rendimiento, porcentaje de humedad, poder calorífico, entre otros), dejan muy en evidencia que estas especies pueden ser utilizadas, sin mayores inconvenientes, como base de la producción eléctrica a partir de biomasa.



---

## Referencias

- Álvarez, D. (2021). Biomasa—Concepto, tipos, ventajas y desventajas. *Concepto*. <https://concepto.de/biomasa/>
- Carreño, J. (2018). *MANUAL DE SIEMBRA Y CULTIVO MARALFALFA*. [https://nanopdf.com/download/manual-de-siembra-y-cultivo-maralfalfa\\_pdf](https://nanopdf.com/download/manual-de-siembra-y-cultivo-maralfalfa_pdf)
- Contexto Ganadero. (2016). Cuba, el pasto ideal para ganado de leche y doble propósito. *CONtexto Ganadero*. <https://www.contexto-ganadero.com/ganaderia-sostenible/cuba-el-pasto-ideal-para-ganado-de-leche-y-doble-proposito>
- Longar Blanco, M. del P., Pérez Hernández, M. del P. M., & Alvarado Martínez, J. Á. (2005). *Perspectivas de energía renovable: Biomasa*.
- López, E., & González, B. (2014). *Diseño y análisis de experimentos: Fundamentos y aplicaciones en agronomía*. Guatemala (2a ed. revisada y ampliada).
- Ludeña, C., Salomon, M., Cocco, M., Dannecker, C., Grütter, J., & Zelaya, S. (2015). *Identificación y priorización de acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA) en los sectores de agricultura, transporte y eco-fogones en Honduras*. Monografía, 343.
- Maldonado-Peralta, M. de los Á., Rojas-García, A. R., Sánchez-Santillán, P., Bottini-Luzardo, M. B., Torres-Salado, N., Ventura-Ríos, J., Joaquín-Cancino, S., & Luna-Guerrero, M. J. (2019). Análisis de crecimiento del pasto Cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en el trópico seco. *Agro Productividad*, 12(8).
- Montejo-Sierra, I. L., Lamela-López, L., & López-Vigoa, O. (2018). Deshidratación del follaje, al sol y a la sombra, de tres plantas forrajeras proteicas. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 21–29.
- Perdices, M. B. (2008). La biomasa como recurso energético. *Revista Energía*, 125–140.
- Pilatásig, C., & Choloquina, M. (2011). *Evaluación de la adaptación del pasto Maralfalfa (Pennisetum sp), en dos pisos altitudinales con tres distancias de siembras en el Campus Juan Lunardi y Naste del Cantón Paute*.
- Proaño, R. C., Cabezas, M. C., & Vargas, M. C. C. (2021). Aplicación de dos intensidades de raleo en el manejo de rebrotes de *Eucalipto urograndis*. Centro Sur.
- Rodríguez, B., & Romero, J. (2017). Evaluación del potencial energético del zacate “King Grass” (*Pennisetum purpureum*). El Salvador.
- Rojas, J. C. V., & Suárez, I. C. (2023). Productividad del pasto Cuba OM-22 bajo diferentes densidades de siembra y frecuencias de cosecha. *InterSedes*, 24(49), 216–237.
- Salvador, A. R. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Esp)*, 104(2), 331–345.
- Vásquez, L., & Álvarez, H. (2019). Estado actual de la generación de energía eléctrica a través de biomasa en Honduras: Análisis de 2007 al 2017. *Revista de la Escuela de Física*, 7(1), 27–35. <https://doi.org/10.5377/ref.v7i1.8261>
- Virola. (2019, mayo 23). Pasto Elefante Morado (*Pennisetum purpureum* CV Camerún rojo). *Pastos y Forrajes*. <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-corte/pasto-elefante-morado-pennisetum-purpureum-cv-camerun-rojo/>

## Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés

## Fuente de financiamiento

Para el desarrollo de esta investigación fue financiada con recursos propios.