Evaluación del potencial calorífico de las especies forestales *Machaerium millei Standl* y *Albizia guachapele* en la provincia de Esmeraldas

Assessment of the Calorific Potential of the Forest Species Machaerium millei Standl and Albizia guachapele in Esmeraldas Province

David Olmedo Ponce[1*], https://orcid.org/0000-0002-8433-2533
Frederick Cervantes Vargas[1], https://orcid.org/0000-0001-8237-3561
Jorge Rodríguez Quiñonez[2], https://orcid.org/0009-0009-5374-1738

1. Docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres. Esmeraldas, Ecuador.
2. Profesional en libre ejercicio

***Autor, correo para correspondencia:** davidolmedoponce@gmail.es

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el poder calorico de las especies forestales *Machaerium millei* y *Albizia guachapele* para determinar su potencia como fuentes de energía dentro del bosque seco de Playa Escondida, parroquia de Galera, cantón Muisne, provincia de Esmeraldas. Las muestras fueron obtenidas de un árbol por especie, segmentadas en cuatro secciones del tronco, de las cuales se extrajeron las muestras. Estas fueron llevadas al Laboratorio de Madera de la Universidad Luis Vargas Torres de Esmeraldas, donde se determinó el contenido de humedad mediante (CH) mediante tres tratamientos de secado a una temperatura de 103°C durante 24 horas, siguiendo la norma NTE-INEN 1164:1983 y se determinó la densidad de las muestras. Además, se obtuvo el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI) con base en la norma UNE-EN ISO 18125. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el CH de *A. guachapele* fue de 36,52% y *M. millei* de 38,59%; la Densidad de *A. guachapele* es de 0,68 g/cm³y *M. millei* de 0,87 g/cm³; el PCS de *A. guachapele* fue de 16,60 Mj/Kg y *M. millei* es de 17,74 Mj/Kg; y PCI de *A. guachapele* fue 14,92 Mj/Kg y *M. millei* fue de14,58 Mj/Kg. El análisis estadístico determinó mediante un ANOVA que existen diferencias significativas entre las densidades de ambas especies. Sin embargo, para el CH donde se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis no se observaron diferencias significativas. En cuanto al PCS y PCI, en la prueba de Kruskal-Wallis sí se encontraron diferencias significativas entre las especies, siendo *A. guachapele* inferior a *M. millei* en su PCS y en el PCI *M. millei* es inferior a *A. guachapele*. Se elaboraron cinco propuestas para optimizar el aprovechamiento y la conservación de la madera, además de una comparación con otros combustibles. Se concluyó que la leña es comparable a otras fuentes de biomasa, con un rendimiento inferior al de los combustibles fósiles, pero con un impacto ambiental significativamente menor.

Palabras clave: calorífico, leña, energía, bioenergía, ecosistema

Abstratc

The objective of this study was to evaluate the calorific value of the species *Machaerium millei* and *Albizia guachapele* to determine their potential as energy sources within the dry forest of Playa Escondida, Galera parish, Muisne canton, Esmeraldas province. Samples were obtained from one tree per species, segmented into four trunk sections, from which the samples were extracted. These were taken to the Wood Laboratory of the Luis Vargas Torres University in Esmeraldas, where the moisture content (MC) was calculated by three drying treatments at a temperature of 103°C for 24 hours, following the NTE-INEN 1164:1983 standard, and the density of the samples was determined. In addition, the higher calorific value (HCV) and lower calorific value (LCV) were obtained based on the UNE-EN ISO 18125 standard. The results obtained were as follows: the MC of *A. guachapele* was 36.52% and *M. millei* was 38.59%; the density of *A. guachapele* was 0.68 g/cm³ and *M. millei* was 0.87 g/cm³; the HCV of *A. guachapele* was 16.60 Mj/kg and *M. millei* was 17.74 Mj/kg; and the LCV of *A. guachapele* was 14.92 Mj/kg and *M. millei* was 14.58 Mj/kg. Statistical analysis by ANOVA showed that there were significant differences between the densities of both species. However, for CH, where a Kruskal-Wallis test was used, no significant differences were observed. Regarding PCS and PCI, the Kruskal-Wallis test did find significant differences between species, with *A. guachapele* being inferior to *M. millei* in its PCS and *M. millei* inferior to *A. guachapele* in its PCI. Five proposals were developed to optimize wood utilization and conservation, in addition to a comparison with other fuels. It was concluded that firewood is comparable to other biomass sources, with a lower yield than fossil fuels, but with a significantly lower environmental impact.

Keywords: calorific potential, firewood, renewable energy, bioenergy, ecosystem.

Introducción

En Ecuador el aprovechamiento de biomasa (entre estas la leña) representa una oportunidad para zonas rurales y comunidades aisladas, donde el acceso a energía convencional es limitado (2). En el contexto de la provincia de Esmeraldas siendo entorno con abundante biomasa forestal y agrícola, aunque enfrenta retos vinculados a la deforestación y a la gestión sostenible de los recursos naturales, donde la presión económica y social, junto con la falta de cumplimiento normativo estatal, ha generado una reducción significativa de la cobertura forestal, afectando el potencial sostenible para dendroenergía (3).

En Playa Escondida, parroquia Galera, provincia de Esmeraldas, predominan dos especies forestales: *M. millei* Standl. y *A. guachapele*. Estas especies, propias de un ecosistema de transición, representan un recurso energético clave para las comunidades locales, especialmente en zonas rurales donde el acceso a otras fuentes de energía es limitado.

La evaluación del potencial calorífico de la leña es un aspecto fundamental en el campo de la bioenergía y la gestión sostenible de los recursos forestales. Sin embargo, no todas las especies arbóreas poseen el mismo nivel de densidad energética, por lo que es esencial identificar cuáles ofrecen un rendimiento superior para su aprovechamiento sostenible.

Las especies evaluadas en este estudio fueron *Machaerium millei Standl* y *Albizia guachapele*, en el bosque seco de Playa Escondida, ubicado entre Tonchigüe y Punta Galera, en la desembocadura del río Malpelo, provincia de Esmeraldas. Este es el primer estudio de su tipo realizado en la mencionada ubicación (4).

La investigación tubo como finalidad la evaluación del valor calorífico de las especies *M. millei* y *A. guachapele* para determinar su viabilidad como fuentes de energía en el contexto del bosque seco de Playa Escondida, provincia de Esmeraldas. Los hallazgos de esta investigación contribuirán al desarrollo de estrategias concretas para el aprovechamiento de la leña de estas especies, promoviendo prácticas más eficientes y sostenibles. Esto no solo beneficiará a las comunidades locales, sino que también ayudará a proteger los bosques y disminuir la presión sobre otras fuentes de energía. La información obtenida valdrá de guía para gestores forestales y autoridades ambientales en la formulación de políticas y estrategias de manejo forestal más efectivas.

Materiales y métodos

Información técnica

Ubicación

El área de estudio donde se obtuvieron las muestras fue el bosque de Playa Escondida ubicada en el sector de La Reserva Ecológica Playa escondida, parroquia de Galera, cantón Muisne, provincia de Esmeraldas. El acceso al área de estudio se localiza a 66.5 km de la Ciudad de Esmeraldas y 10 km de la vía Galera – Same (39)

Datos Meteorológicos

Clima

La parroquia Galera, debido a su ubicación costera, está influenciada principalmente por la corriente de El Niño y la corriente de Humboldt. La corriente de El Niño, con sus aguas cálidas, se manifiesta entre diciembre y abril, elevando la temperatura superficial del mar y afectando el clima durante la estación lluviosa. Por otro lado, la corriente de Humboldt, conocida por sus aguas frías y alta productividad, influye en la región entre mayo y noviembre (4).

Vegetación

La parroquia Galera alberga una gran diversidad de ecosistemas, muchos de ellos con especies endémicas. El bosque húmedo tropical es predominante en las áreas de conservación. En Galera, predomina el Bosque Siempre Verde (BSV), que se divide en dos: el BSV del Chocó Ecuatorial, que abarca 31.5 km², y el BSV de tierras bajas del Chocó Ecuatorial, que cubre 2.8 km². Además, hay 32.6 km² destinados a áreas de intervención.

En la región, también existe un ecosistema marino, la "Reserva Galera San Francisco", y un ecosistema terrestre en la cuenca de ríos y esteros. Estos ecosistemas albergan una gran cantidad de individuos y soportan interacciones complejas, donde cualquier alteración puede afectar la conservación y los servicios ambientales (4).

Suelo

El bosque primario muestra distintos grados de intervención y tiene áreas de conservación dispersas por todo el territorio. La cobertura de uso agropecuario es variada, aunque no se aprovecha plenamente su potencial. Las áreas destinadas a los asentamientos humanos en crecimiento, como Galera, Galerita, Antena Chipa, San Enrique y Estero Plátano, están incorporando nuevas zonas. Las áreas de playa y de los esteros se destinan al turismo debido a su belleza paisajística. Además, existen remanentes de bosque primario con una gran diversidad de flora y fauna que son vulnerables a la degradación (4).

Geología

La parroquia tiene un paisaje ondulado con pequeños macizos montañosos que disminuyen en altura de este a oeste y de sur a norte. Las elevaciones descienden progresivamente hasta unos 239 metros sobre el nivel del mar en la parte sur, aunque las pendientes siguen siendo pronunciadas. En general, el paisaje consiste en colinas bajas que descienden

gradualmente hasta el nivel del mar. Las principales unidades de cobertura vegetal en la parroquia son los ecosistemas de manglar y el bosque húmedo tropical, que ocupan la mayor parte del área. El rango altitudinal del cantón varía desde el nivel del mar hasta aproximadamente 239 metros. La zona de Galera presenta una topografía muy irregular, con pendientes pronunciadas, vegetación densa y altas precipitaciones (4).

Hidrografía

Las principales fuentes de agua en la parroquia incluyen los esteros Galera, Plátano y Cumulinche, así como cuerpos de agua subterránea en varios puntos de la parroquia. Estos recursos son utilizados tanto para el consumo humano como, ocasionalmente, para riego. En la cabecera parroquial y en varios recintos, existen pozos y esteros de donde se extrae el agua y se distribuye sin potabilización. Además, se han creado juntas de agua, como las de Galerita, Galera y Estero de Plátano. Sin embargo, recintos como San Enrique y Antena de Chipa no cuentan con este servicio y obtienen agua de vertientes y ríos cercanos, transportándola en envases a mano o en burro para sus actividades domésticas (4).

METODO.

Trabajo de campo:

a) Inspección y selección de árboles en el área de estudio:

Se realizó un recorrido dentro del área de estudio para la identificación de los árboles de interés y selección los criterios establecidos en la sección.

b) Obtención de muestras.

Los árboles seleccionados para el aprovechamiento fueron cortados y seccionados en cuatro estratos equidistantes, tomando como referencia una altura de 1,3 m. El estrato 1 corresponde a la parte más alta del tronco, mientras que el estrato 4 es el más cercano a la base.

A partir de estos estratos, se obtuvieron probetas con dimensiones de 50 cm de largo × 8 cm de ancho × 8 cm de espesor, conforme a lo establecido en las normas NTE INEN 1164: 1983 (24) y las disposiciones de Agostinho et al. (41).

Las muestras fueron almacenadas en fundas Ziploc y rotuladas con un código compuesto por la primera letra de la especie correspondiente y un número que representa el estrato del cual se extrajo la probeta. Finalmente, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de la Madera de la Universidad Luis Vargas Torres de Esmeraldas, extensión Muisne.

Trabajo de laboratorio:

a) Las probetas fueron marcadas con un marcador indeleble las caras que pertenecen al largo (longitudinal), ancho (tangencia) y espesor (radial) de las piezas.

b) Las muestras fueron pesadas (en

gramos) en una balanza y se midió el largo, ancho y espesor de las muestras con un vernier de 24 pulgadas (en centímetros).

c) Las muestras fueron sometidas a 3 repeticiones de un tratamiento de secado con una temperatura de 103±1 °C y por un tiempo de 24 horas en una estufa, después de cada repetición las muestras fueron guardadas en un desecador por 20 minutos y se repite el paso anterior (concordando a las normas NTE INEN 1164:1983 (24)).

d) Los datos recolectados se utilizaron para determinar el contenido de humedad (CH) (en porcentaje) y la densidad (en gramos sobre centímetros cúbicos) de la madera cuando esta se encuentra verde y anhidra.

e) Las muestras fueron trituradas, empacadas y envidas al Laboratorio de Biomasa de la Universidad Estatal de Bolívar, donde se determinó el poder calorífico superior (en Kilojulios sobre kilogramos) (PCS) e poder calorífico inferior (en Kilojulios sobre kilogramos) (PCI) de cada muestra siguiendo las normas y procedimiento de UNE-EN ISO 18125 (40).

Trabajo de oficina.

a) Una vez levantada la información de campo, se procedio al tratamiento de los mismos para sus respectivos análisis con la utilización del software IBM SPSS 26 (41).

Se determinó el contenido de humedad y densidad, mediante las fórmulas siguientes:

Densidad.

$$d = \frac{m}{V}\ (g/cm^3)$$

Dónde: m: masa en gramos; V: Volumen (cm3); y d: densidad;

Contendido de humedad:

$$CH\% = \frac{PV - PS}{PS} \cdot 100$$

Dónde: CH%: contenido de humedad en porcentaje; PV: peso verde o inicial; PS: Peso seco o anhidro (g).

b) Se realizo el análisis de supuestos estadísticos, la estadística descriptiva del volumen, peso, densidad, PCS y PCI, se realizó un análisis para comprobar los supuestos estadísticos y determinar si existen diferencias significativas entre las variables estudiadas.

c) Se realizó una comparación del poder calorífico en función de otras fuentes energéticas y se generaron propuestas (residuo de campo, cascarilla de arroz, corteza de coníferas, corteza de frondosas, Fuel Oil 1 y 2, gasóleo C (Diésel C) y gas propano).

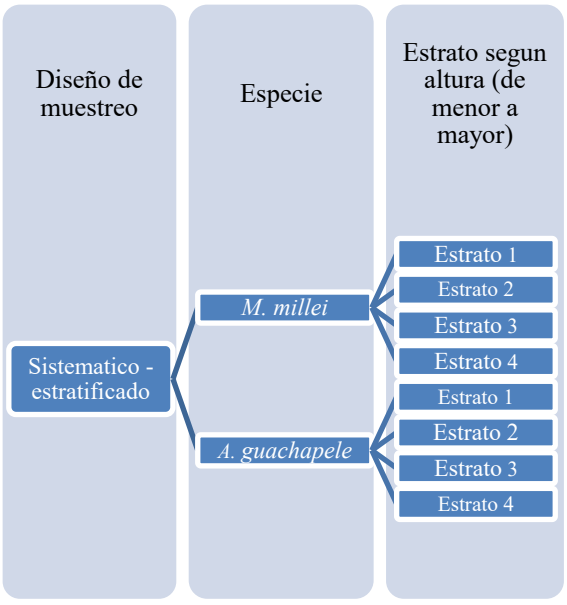
Generación de propuestas.

Se generó una propuesta para el manejo uso y conservación de las especies forestales estudiadas, *M. millei* y *A. guachapele*. como fuente de energía alternativa sostenible.

Diseño de la investigación

Diseño de muestreo

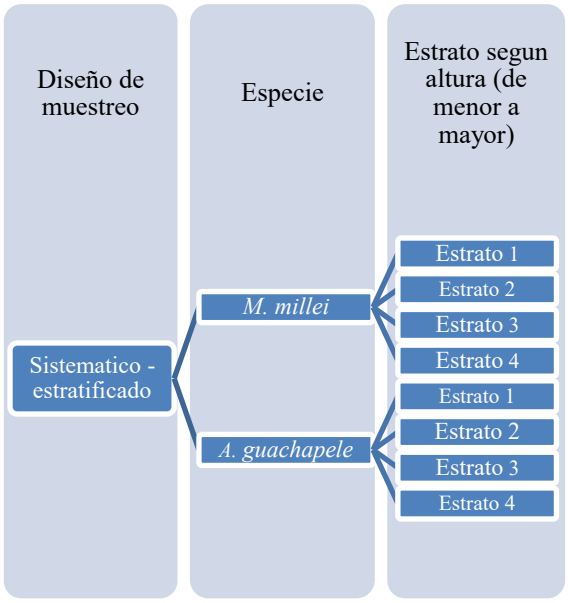
Se aplicó un diseño sistemático estratificado, las especies *Machaerium millei* y *Albizia guachapele*, con una buena abundancia dentro del bosque de Playa Escondida, donde se seleccionó un individuo por taxon con características deseables como altura, diámetro y estado fitosanitario considerando que la distancia de separación entre arboles de la misma especie sea máxima de 25m y entre arboles de distinta especie mínimo de 25 m. Se realizó la tumba y la toma de muestras (probetas) del fuste de cada arboles dividiendo sus troncos en la misma distancia de separación desde la altura de 1,3m y señalando de la parte más alta del tronco, es el estrato 1 hasta llegar al último que es el 4. Las muestras poseen unas dimensiones de 50cm de largo x 8cm de ancho x 8 cm de espesor, esto se ilustra en la



Autor*: Jorge Rodríguez*

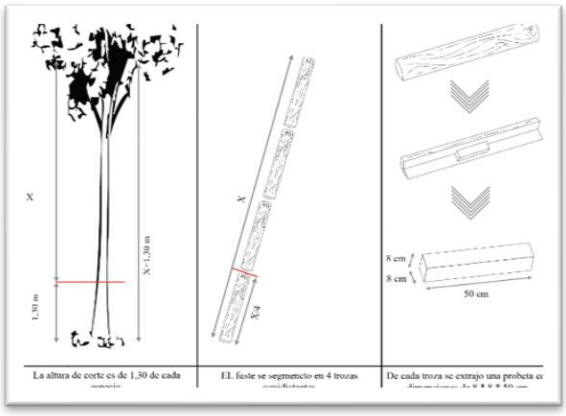
Figura 2, 2.

Figura 1: Grafico de diseño de muestreo



Autor: Jorge Rodríguez

Figura 2: Obtención de muestras



Autor: Jorge Rodríguez

El diseño experimental fue de bloques estratificados, porque la variable independiente es la especie y los estratos de altura donde se tomaron las muestras, y las variables independientes son peso en gramos (g), volumen en centímetros cúbicos (cm^3), densidad en gramos sobre centímetros cúbicos(g/cm^3) y poder calorífico en megajulios sobre kilogramos (Mj/kg), contenido de humedad en porcentaje (CH%).

Variables de análisis estadístico

Se estableció como variable independiente la especie y el estrato de la muestra como variable dependiente

contenido de humedad (CH), la densidad y el poder calorífico.

Técnicas de recolección de datos

Se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

Recorrido y observación del área de estudio: se realizó un recorrido dentro del Bosque de Playa Escondida identificando las especies de interés *M. millei* y *A. guachapele* tomando sus coordenadas.

Las siguientes técnicas y métodos de medición fueron realizado en laboratorio.

La medición de las probetas se realizó con un vernier de 24 pulgadas midiendo las dimensiones de la probeta antes marcada (largo, espesor y ancho), el peso de las probetas antes y después de cada tratamiento de secado se realizó con una balanza, el análisis de poder calorífico fue realizado en el Laboratorio de Biomasa de la Universidad Estatal de Bolívar. Los datos de interés que fueron registrados en las técnicas y métodos de recolección de datos fueron:

- Ubicación geográfica del árbol
- Nombre científico del árbol
- Codificación de la muestra (estrato y especie que pertenece la muestra)
- Masa (verde, seca y anhidra)
- Largo (verde, seca y anhidra)
- Ancho (verde, seca y anhidra)
- Espesor (verde, seca y anhidra)
- Poder calorífico (superior e inferior)

Modelo de análisis de los datos e interpretación

Se analizaron los datos para determinar su normalidad, homogeneidad e independencia de las observaciones, se realizó los estadígrafos correspondientes para cada variable como: promedio, desviación estándar, varianza, mínimo, máximo, rango, asimetría, curtosis e intervalo de confianza al 95 %.

Resultados

Masa de muestras

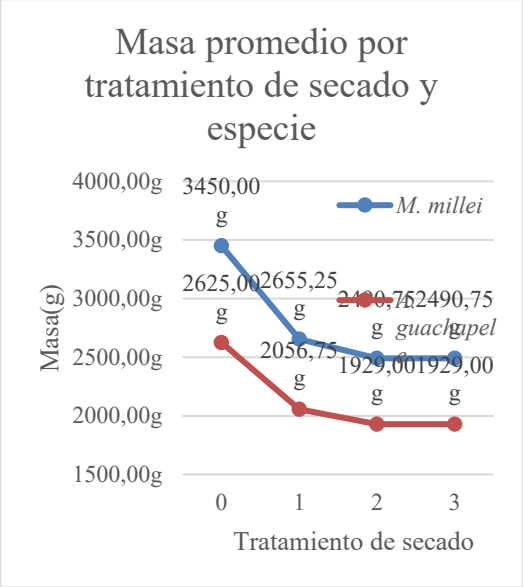
La masa promedio en cada muestra, según la especie y el tratamiento de secado, fue de 3450 g en peso verde para *M. millei* y 2625 g para *A. guachapele*, se observó que, a partir del tratamiento 2 de secado, el peso no presentó variaciones, lo que indica que se alcanzó el peso anhidro de las muestras, los pesos promedios obtenidos fueron de 2449,75 g para *M. millei* y 1929 g para *A. guachapele*, estos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Masa promedio por repeticiones tratamiento de secado y especie

Tratamientos	M. Millei (g)	A. Guachapele (g)
0	3.450,00	2625,00
1	2.655,25	2056,75
2	2.490,75	1929,00
3	2.490,75	1929,00

Autor: Jorge Rodríguez

Figura 1: Masa promedio por tratamiento de secado y especie



Autor: Jorge Rodríguez

Los descriptivos para el *A. guachapele*, la media es 2134,93 g y la varianza de 102083,53. La curtosis -0.005, lo que indica una distribución ligeramente platicúrtica; sin embargo, la diferencia es mínima, por lo que se puede considerar como una distribución mesocúrtica, Lo que indica que los datos presentan una distribución uniforme, con una tendencia hacia valores inferiores a la media, el intervalo de confianza lleva a la media a un límite superior de 2800 g, mientras que el límite inferior es de 1803 g. Estos resultados se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2: Estadística descriptiva general para masa por especie

ESTADÍSTICOS		A. GUACHAPELE	M. MILLEI
Media		2134,93	2771,68
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	1964,69	2550,39
	Límite superior	2305,19	2992,99
Varianza		102083,53	172478,1
Desviación estándar		319,51	415,30482
Mínimo		1803	2447
Máximo		2800	3600
Rango		997	1153
Asimetría		1,079	1,182
Curtosis		-0,005	-0,37

Autor: Jorge Rodríguez

En el caso de *M. Millei*, la media es de 2771,68 g y la varianza de 172478,1. La curtosis obtenida es de -0,37, lo que indica una distribución platicúrtica. En cuanto a la asimetría, esta es positiva, lo que significa que los datos presentan una dispersión moderada y están sesgados hacia valores menores que la media el intervalo de confianza muestran un límite superior de 3600 g, mientras que el límite inferior es de 2447 g. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

Estos valores indican que *M. millei* tiene un mayor peso frente al *A. guachapele* y que la distribución más uniforme, mostrando diferencias menores entre el peso verde y el anhidro en comparación con *M. millei*.

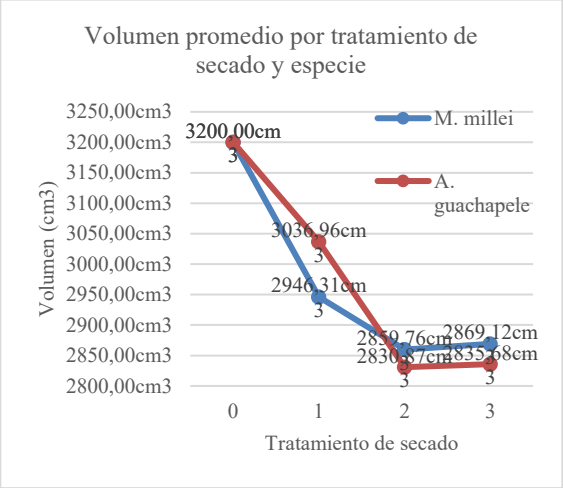
Volumen de muestras

El volumen promedio de cada muestra según la especie tratamientos de secado, fue en peso verde de 3200 cm3 para *M. Millei*, y *A. guachapele*, y desde el tratamiento 2 sufre cambios pequeños, debido a las deformaciones de la madera cuando esta pierde agua y por la contracción por la temperatura de secado, esto se observa en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3: Volumen promedio por tratamiento de secado y especie

Tratamiento	*M. MILLEI* (cm³)	*A. Guachapele* (cm³)
0	3.200	3.200
1	2.946,31	3.036,96
2	2.859,76	2.830,87
3	2.869,12	2.835,68

Figura 2: Volumen promedio por tratamiento de secado y especie



Autor: Jorge Rodríguez

en el caso de *A. guachapele*, la media es de 2975,88cm³ y la varianza de 27963,39. La curtosis obtenida es de -1,52, lo que indica una distribución platicúrtica. En cuanto al coeficiente de asimetría, este es de 0,2, lo que significa que los datos presentan una distribución dispersa y están sesgados hacia valores menores que la media, el intervalo de confianza muestran un límite superior de 3200cm³, mientras que el límite inferior es de 2771,52 cm³, tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4: Estadística descriptiva general para volumen por especie

ESTADÍSTICO		*A. Guachapele*	*M. Millei*
Media		2.975,88	2.968,80
95% de intervalo de confianza	**Límite inferior**	2.886,77	2.886,44
	Límite superior	3.064,98	3.051,16
Varianza		27.963,39	23.888,88
Desviación estándar		167,22	154,56
Mínimo		2.771,52	2.792,42
Máximo		3.200,00	3.200,00
Rango		428,48	407,58
Asimetría		0,20	0,60
Curtosis		-1,52	-1,15

Autor: Jorge Rodríguez

Para el caso de *M. Millei* posee una media de 2968,8cm3 y varianza de 23888,88 presentado una curtosis de -1,15 teniendo una distribución que tiende a ser platicúrtica y en el coeficiente de asimetría 0,6, es decir que los datos presentan una distribución un poco dispersa de datos entre ellos y sesgada a tener valores menores a la media, el intervalo de confianza genera un límite superior de 3200 cm3, y un límite inferior de 2.792,42 cm3, esto se observa en la Tabla 4.

Estos valores señalan que *A. guachapele* presenta mayor peso en comparación al *M. Millei*, y que la distribución del *A. guachapele* es más dispersa, pero menos asimétrica teniendo valores más cerca de la media en comparación al *M. millei*

Densidad de muestras

La densidad promedio en cada muestra, frente al tratamiento de secado, fueron de 1,08g/cm³ en peso verde para *M. millei* y de 0,82g/cm³ para *A. guachapele*, y a partir del tratamiento 2, la densidad no sufrió cambios, obteniendo una densidad anhidra de 0,87g/cm³ para *M. millei* y de 0,68g/cm³ para *A. guachapele*. Estos

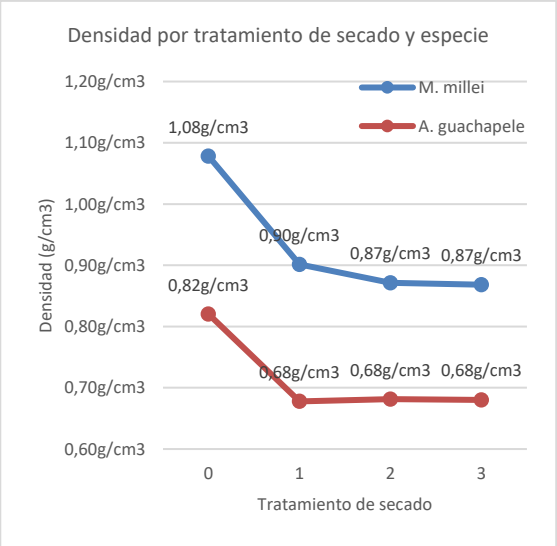
resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Densidad por tratamiento de secado y especie

Tratamiento	*M. Millei* (g/cm³)	*A. Guachapele* (g/cm³)
0	1,08	0,82
1	0,90	0,68
2	0,87	0,68
3	0,87	0,68

Autor: Jorge Rodríguez

Figura 3: Densidad por tratamiento de secado y especie



Autor: Jorge Rodríguez

El *A. guachapele* posee una densidad media de 0,71g/cm3 y varianza de 0,71, presentado una curtosis de 0,14 teniendo una distribución que tiende a ser leptocúrtica y en el coeficiente de asimetría 0,98, es decir que los datos presentan una distribución que se aglomera en la media y sesgada a tener valores menores a la media, el intervalo de confianza que genera de 0,88g/cm3, y un límite inferior de 0,64g/cm3, tal como lo indica la Tabla 6.

Tabla 6: Estadística descriptiva general para densidad por especie.

ESTADÍSTICO		*A. Guachapele*	*M. Millei*
Media		0,71	0,93
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	0,68	0,88
	Límite superior	0,75	0,98
Varianza		0,71	0,008
Desviación estándar		0,005	0,09
Mínimo		0,64	0,85
Máximo		0,88	1,13
Rango		0,23	0,28
Asimetría		0,98	1,19
Curtosis		0,14	-0,14

Autor: Jorge Rodríguez

El *M. Millei* posee una media de 0,93g/cm3 y varianza de 0,008 presentado una curtosis de -0,14 teniendo una distribución que tiende a ser platicúrtica y en el coeficiente de asimetría 1,19, es decir que los datos presentan una distribución dispersa de datos entre ellos y sesgada a tener valores menores a la media, el intervalo de confianza genera un límite superior de 1,13g/cm3, y un límite inferior de 0,85g/cm3, esto se observa en la Tabla 6. Estos valores señalan que *A. guachapele* presenta menor densidad en comparación al *M. Millei*, y que la distribución del *A. guachapele* es menos dispersa y asimétrica teniendo valores más cerca de la media en comparación *M. Millei* .

Comparación entre densidades por estrato, especie y tratamiento de secado

Al aplicar la prueba Kolmogorov-Smirnov para los datos de densidad, obteniendo los siguientes resultados:

- Secado: Los datos de secado para peso verde presentan un P valor de 0,065, mientras que el peso anhidro tiene un P valor de 0,117. Con base en esta evidencia estadística, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.
- Especie: La *A. guachapele* tiene un P valor de 0,2 y *M. millei* un P valor de 0,076. Esto significa que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Se realizó una prueba de homocedasticidad por la prueba de Levene a los datos de densidad obteniendo los siguientes resultados:

- **Estrato**

Con un P valor de 0,98, se deduce que en base a la evidencia se acepta la hipótesis nula, significando que las varianzas de los grupos de secado son iguales.

Estos resultados se detallan mejor en la Tabla 7.

Tabla 7: Pruebas de Levene para homogeneidad de varianzas para secado, especie y estrato por densidad.

Factor	Estadistico de levene	Gl1	Gl2	P-valor
Especie	3,344	1	14	0,089
Secado	3,344	1	14	0,089
Estrato	0,058	3	12	0,981

Autor: Jorge Rodríguez

Pruebas estadísticas

En el ANOVA de dos vías, se observa que el P valor es de 0 para intersección, tratamiento de secado y especie. Con base en la evidencia estadística observada, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que existen diferencias significativas en la intersección de las variables, así como entre las especies y los tratamientos de secado (peso verde y peso anhidro). Sin embargo, en el caso del tratamiento de secado por especie, se obtuvo un P valor de 0,12, lo que indica que, según la evidencia estadística, no existen diferencias significativas. Estos resultados se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8: ANOVA de dos vías para secado y especie por densidad.

ORIGEN	TIPO III DE SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	P VALOR
Intersección	11,89	1,00	11,89	7.476,96	0,00
Secado	0,12	1,00	0,12	75,97	0,00
Especie	0,20	1,00	0,20	125,98	0,00
Secado * Especie	0,01	1,00	0,01	2,87	0,12
Error	0,02	12,00	0,00		
Total	12,23	16,00			

Autor: Jorge Rodríguez

Se observa que, en el caso del factor secado, la densidad más alta corresponde al peso verde, con un promedio de 0,95g/cm³, en el estado anhidro, la densidad promedio es de 0,77g/cm³.

En cuanto al factor especie, *A. guachapele* presenta una densidad media de 0,71g/cm³, *M. millei* alcanza un valor de 0,93g/cm³, estos resultados se evidencian en la Tabla 6.

Por último, en el análisis del efecto combinado de los factores especie y secado, no se encontraron diferencias

significativas entre ellos, como se muestra en la Figura 3.

Contenido de humedad

Contenido de humedad en estado anhidra es de 38,59% para *M. millei* y para *A. guachapele* es de 36,52%, se observa que en el tratamiento 1 el contenido de humedad total extraído promedio es de 30,05% para *M. millei* y de 27,58% para *A. guachapele*, y en peso verde para las dos especies es 0 debido a que se considera a este estado que no se ha perdido la humedad que almacena. Esto se evidencia en la Tabla 9

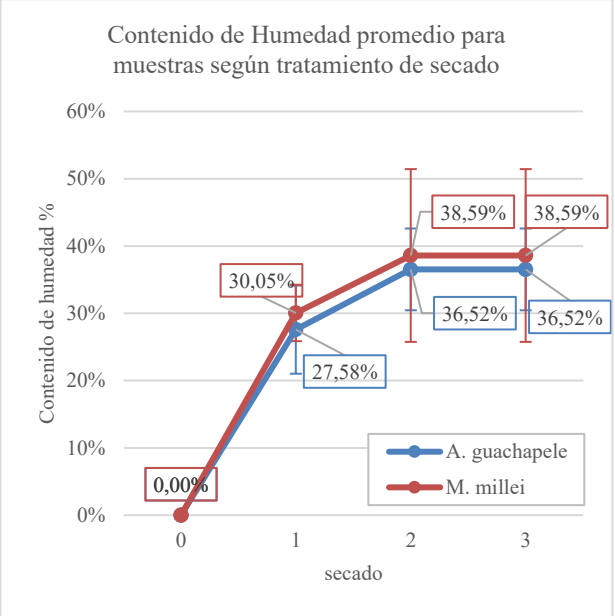
El contenido de humedad de la madera en estado anhidro es de 38,59 % para *M. millei* y de 36,52 % para *A. guachapele*.

Tabla 9: Contenido de humedad promedio para muestras según tratamiento de secado.

Tratamientos	*A. Guachapele*	*M. Millei*
	Contenido de humedad %	Contenido de humedad %
T0	0,00%	0,00%
T1	27,58%	30,05%
T2	36,52%	38,59%
T3	36,52%	38,59%

Autor: Jorge Rodríguez

Figura 4: Contenido de humedad promedio para muestras según tratamiento de secado.



Autor: Jorge Rodríguez

Se observó que la especie *A. guachapele* muestra una media de 36,52% contenido de humedad (CH), con una desviación estándar de 12,84, estos estadísticos señalan que los datos se encuentran ligeramente sesgados a valores superiores de la media. el intervalo de confianza genera un límite superior de 56,95% de CH, y un límite inferior de 22,45%, esto se evidencia en la tabla

Tabla 10.

Tabla 10: Estadística descriptiva del contenido de humedad por **especie.**

Autor: Jorge Rodríguez

La especie M. millei muestra una media de 38,59% CH, con una desviación estándar de 28,92, muestra una asimetría de 1,35 y presenta una curtosis leptocúrtica de 1,20. Esto estadísticos señalan que los datos se encuentran sesgados a valores inferiores de la media y concentrados en un punto inferior de la media. Los intervalos de confianza con un límite superior de 48,26% y valor máximo de 47,12% de humedad, y un límite inferior de 28,92%, y valor mínimo de 34,23%. Esto se evidencia en la tabla

Tabla 10.

Estos valores señalan que A. guachapele presenta menor CH en comparación a M. millei, pero los inérvalos de confianza y máximos y mínimos son muy próximos y el promedio se encuentran dentro de cada intervalo de confianza lo que sugiere que no existen diferencias significativas entre el contenido de humedad.

Comparación entre contenido de humedad por estrato y especie.

Se realizó una prueba de homocedasticidad por la prueba de Levene a los datos de densidad obteniendo los siguientes resultados:

- **Estrato**

Se obtuvo un P valor de 0, con lo que se deduce que en base a la evidencia presentada se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, significado que las varianzas de los grupos de estratos son estadísticamente diferentes.

- **Especie**

Se obtuvo un P valor de 0,05, con lo que se deduce que en base a la evidencia presentada se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, significando que las varianzas de los de especie son estadísticamente diferentes.

ESTADÍSTICOS		*A. GUACHAPELE*	*M. MILLEI*
MEDIA		36,52	38,59
95% INTERVALO CONFIANZA	DE LÍMITE INFERIOR	16,10	28,92
	DE LÍMITE SUPERIOR	56,95	48,26
VARIANZA		164,79	36,94
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		12,84	6,08
MÍNIMO		22,45	34,23
MÁXIMO		50,13	47,12
RANGO		27,69	12,89
ASIMETRÍA		-0,06	1,35
CURTOSIS		-3,71	1,20

Prueba estadística

El factor especie por C.H. se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, donde se obtuvo un P valor de 0,77, en base a esta evidencia estadística se acepta la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas entre los estratos con respecto a su densidad. Esto se evidencia en la Tabla 11.

Tabla 11: Prueba de hipótesis por prueba de Kruskal-Wallis para especie por contenido de humedad.

ESTADÍSTICO	VALOR
H de Kruskal-Wallis	0,09
Gl	1
P valor	0,77

Autor: Jorge Rodríguez

El factor especie por C.H. se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, donde se obtuvo un P valor de 0,77, en base a esta evidencia estadística se acepta la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas entre los estratos con respecto a su densidad. Esto se evidencia en la Tabla 11.

Tabla 12: Prueba de hipótesis por prueba de Kruskal-Wallis para estrato por contenido de humedad

ESTADÍSTICO	VALOR
H de Kruskal-Wallis	4,85
Gl	3
P valor	0,18

Autor: Jorge Rodríguez

El factor estrato por C.H. se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, donde se obtuvo un P valor de 0,18, en base a esta evidencia estadística se acepta la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas entre los estratos con respecto a su densidad. Esto se evidencia en la Tabla 12.

Esto señala que no existen diferencias significativas entre el C.H. del *A. guachapele* y *M. millei*, indicando que la perdida de humedad es parecida entre especies. En el caso de los estratos se observó que la humedad es igual según la prueba de Kurrskal-Wallis.

Poder calorífico

Las pruebas de poder calorífico en las dos especies dieron como resultado, que *M. millei* y *A. guachapele* en su poder calorífico superior (PCS) obtuviera 17,74 Mj/Kg y 16,6 Mj/Kg respectivamente, observando que esta variable el *M. millei* tiene una mayor densidad energética. En el poder calorífico inferior (PCI) se observó que *M. millei* tuvo una menor densidad energética que el *A. guachapele*, obtenido valores de 14,58 Mj/Kg y 14,92 Mj/Kg, estos resultados se pueden deber a la densidad de la madera y su composición química que influye directamente en la densidad energética que contenga la leña. Estos datos se ilustran en la Tabla 13**.**

Tabla 13: Poder calorífico superior e inferior por especie

Poder calorífico	Especie	PC Promedio (Mj/Kg)
Superior	***M. millei***	**17,74**
	A. guachapele	**16,60**
Inferior	***M. millei***	**14,58**
	A. guachapele	**14,92**

Autor: Jorge Rodríguez

Se observa que en el caso del A. guachapele en su PCS posee una densidad energética media de 16,6 Mj/Kg y desviación estándar de 0,06, presentado una curtosis de -3,5 teniendo una distribución que tiente a ser planicúrtica y en el coeficiente de asimetría 0,27, es decir que los datos presentan una distribución dispersa de la media y sesgada a tener valores menores a la media. Los intervalos de confianza con un límite superior de 16,7 Mj/Kg y valor máximo de 16,77Mj/Kg, y un límite inferior de 16,5 Mj/Kg, y valor mínimo de 16,54 Mj/Kg. Y en el caso de M. millei en su PCS posee una densidad energética

media de 17,74 Mj/Kg y desviación estándar de 0,116, presentado una curtosis de -5,63 teniendo una distribución que tiente a ser planicúrtica y en el coeficiente de asimetría 0,05, señalando que los datos se comportan con una distribución muy dispersa de la media y poco sesgada a tener valores menores a la media. Los intervalos de confianza con un límite superior de 17,92 Mj/Kg y valor máximo de 17,85 Mj/Kg, y un límite inferior de 17,55 Mj/Kg, y valor mínimo de 17,63 Mj/Kg, esto se observa en la Tabla 14.

Estos datos nos dan a entender que el PCS de M. millei es superior que el A. guachapele, pero con una distribución, más dispersa en comparación al A. guachapele, además los dos conjuntos de datos presentan comportamientos en sus intervalos de confianza superando al valor máximo y mínimo encontrado y sus otros estadísticos, sugiere que los datos no cumplen con la distribución normal.

Tabla 14: Estadística descriptiva de poder calorífico superior e inferior por especie

ESTADÍSTICO	PCS (Mj/Kg)		PCI (Mj/Kg)	
	A. Guachapele	*M. Millei*	*A. Guachapele*	*M. Millei*
Media	16,60	17,74	14,92	14,58
95% de confianza para la media: Límite inferior	16,50	17,55	14,85	14,57
95% de confianza para la media: Límite superior	16,70	17,92	14,99	14,60
Varianza	0,0040	0,0140	0,0020	0,0001
Desviación estándar	0,0606	0,1162	0,0435	0,0096
Mínimo	16,54	17,63	14,86	14,57
Máximo	16,67	17,85	14,96	14,59
Rango	0,13	0,22	0,10	0,02
Asimetría	0,27	0,05	-0,83	-0,86
Curtosis	-3,50	-5,63	-0,04	-1,29

Nota: PCS y PCI, significan poder calorífico superior y poder calorífico inferior respectivamente.
Autor: Jorge Rodríguez

Se describió en el PCI del *A. guachapele* presenta una densidad energética media de 14,92 Mj/Kg y desviación estándar de 0,044, presentado una curtosis de -0,04 teniendo una distribución que tiente a ser planicúrtica y en el coeficiente de asimetría -0,83, señalando que los datos se presentan una distribución poco dispersa de la media y poco sesgada a tener valores mayores al promedio. Los intervalos de confianza con un límite superior de 14,99 Mj/Kg y valor máximo de 14,96 Mj/Kg, y un límite inferior de 14,85 Mj/Kg, y valor mínimo de 17,86 Mj/Kg. Para el caso del PCI del *M. millei* presenta una densidad energética media de 14,58 Mj/Kg y desviación estándar de 0,01, presentado una curtosis de -1,29 teniendo una distribución que tiente a ser planicúrtica y en el coeficiente de asimetría -0,86, señalando que los datos se presentan una distribución dispersa de la media y poco sesgada a tener valores mayores al promedio. Los intervalos de confianza con un límite superior de 14,99 Mj/Kg y valor máximo de 14,96 Mj/Kg, y un límite inferior de 14,85 Mj/Kg, y valor mínimo de 17,86 Mj/Kg, esto se observa en la Tabla 14.

Estos estadísticos señalan que el *A. guachapele* tiene un PCI superior al que presenta *M. millei*, contrario al PCS donde el *A. guachapele* es menor a *M. millei*, esto se puede atribuir a varios factores como químicos, ambientales y procedimentales. También se observó que los datos en el caso del *A. guachapele* tienen los datos menos dispersos de la media en comparación al *M. millei*, el sesgo presentado es similar entre las dos taxa, cabe señalar que los limites superior e inferior superan al valor máximo y mínimo, por el comportamiento que tiene los datos en base a su estadística descriptiva se puede suponer que los datos no presentan una distribución normal.

Comparación entre contenido de humedad por estrato y especie.

Se realizó una prueba de homocedasticidad por la prueba de Levene a los datos de densidad obteniendo los siguientes resultados:

- Estrato

Se obtuvo un P valor de 0 para PCS y PCI, con lo que se deduce que en base a la evidencia presentada se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, significado que las varianzas de los grupos de estratos son estadísticamente diferentes.

- Especie

Se obtuvo un P valor de 0,004 para PCS, con lo que se deduce que en base a la evidencia presentada se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que significa, que las varianzas de los grupos de especie son estadísticamente diferentes. Y en el caso del PCI se determinó un P valor de 0,063, con lo que en base a estos datos estadístico se acepta la hipótesis nula, señalando que las varianzas son estadísticamente iguales.

Prueba estadística

El factor especie por PCS y PCI, se sometió a una prueba de Kruskal-Wallis, donde obtuvo un P valor de 0,02 para el PCS, en base a este estadístico de prueba se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. El PCI obtuvo un P valor de 0,02, en base a esta evidencia estadística se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto se observa en la Tabla 15.

Tabla 15: Prueba de Kruskal-Wallis para especie por PCS y PCI

ESTADÍSTICOS	VALOR	
	PCS	PCI
Estadístico de prueba	5,33	5,40
Grado de libertad	1,00	1,00
P valor	0,02	0,02

Autor: Jorge Rodríguez

El poder calorífico de las dos especies presenta diferencias, pero el PCI para el uso rural tiene mayor importancia por lo cual se sugiere para el uso residencial o artesanal, se prefiera la leña del *A. guachapele* en comparación al *M. millei*.

Si la leña se destina para el uso industrial donde se aproveche la energía liberada al condensar el vapor de agua presente en los gases de escape, la mejor opción es *M. millei* en comparación al *A. guachapele*. Cabe señalar que si se define densidad energética contenida por cada especie el *M. millei* es superior al *A. guachapele*.

El factor estrato por PCS y PCI, se sometió a una prueba de Kruskal-Wallis, donde obtuvo un P valor de 0,68 para el PCS, en base a este estadístico de prueba se acepta la hipótesis nula. El PCI obtuvo un P valor de 0,87, en base a esta evidencia estadística se acepta la hipótesis nula, esto se observa en la Tabla 16. Estos resultados indican que no existen diferencias significativas entre los estratos de PCS y PCI. Esto indica que la energía específica es igual entre cada estrato, es decir, que independientemente del punto del fuste que se recolecte, la leña tendrá el mismo poder calorífico

Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis para estrato por PCS y PCI

ESTADÍSTICOS	VALOR	
	PCS	PCI
Estadístico de prueba	1,50	0,72
Grado de libertad	3,00	3,00
P valor	0,68	0,87

Autor: Jorge Rodríguez

Modelo de regresión de estrato, densidad, PCS y PCI.

Se determinó los coeficientes de correlación de Pearson donde las variables de densidad, PCS y PCI, poseen una correlación muy fuerte teniendo valores superiores a 0,8. En el caso de CH se observa que tiene una correlación muy baja reflejando valores menores a 0,2. Se observa que la variable PCI en cada caso tiene una relación inversa (presenta valores negativos en sus coeficientes), en el caso de contenido de humedad es inversa solo con la variable densidad, esto esta detallado en la Tabla 17. Estos coeficientes indican que las variables están altamente relacionadas con excepción al CH.

Tabla 17: Correlación de Pearson por densidad, estrato, PCS y PCI

Correlación de pearson	Densidad	PCS	PCI	CH
Densidad	1,00	0,97	-0,93	-0,13
PCS	0,97	1,00	-0,97	0,08
PCI	-0,93	-0,97	1,00	-0,18
CH	-0,13	0,08	-0,18	1,00

Autor: Jorge Rodríguez

En base a estos datos se creó un modelo de regresión lineal múltiple tomando como variable dependiente la densidad, y como variables dependientes PCS, PCI y el contenido de humedad. Obtenido como resultado este modelo un valor de correlación de Pearson de 0,994, señalando que existe una relación fuerte entre los datos del modelo y un coeficiente de determinación R^2 = 0,989 señalando que las variables independientes explican la muy bien el comportamiento de la variabilidad del a variable dependiente.

Tabla 18: ANOVA para modelo de regresión lineal múltiple

Estadist	Suma de cuadrad	GL	Media cuad	F	P -valor
Regresión	0,076	3	0,025	119,452	0
Residuo	0,001	4	0,000		
Total	0,077	7			

Autor: Jorge Rodríguez

Se realizó una prueba ANOVA (Tabla 18) para el modelo de regresión lineal múltiple donde se obtuvo un P valor 0 por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, significando que el modelo es útil para explicar las variaciones de los datos observados.

Tabla 19: coeficientes y significancia de modelo de regresión lineal múltiple

COEFICIENTESA	B	P VALOR
(Constante)	-0,767	0,777
CH	-0,002	0,019
PCS	0,151	0,016
PCI	-0,065	0,641

Autor: Jorge Rodríguez

Se observó en la Tabla 19 que los coeficientes obtenidos en la creación de modelo son para CH de -,0002 con un P valor de 0,019 señalando que este coeficiente tiene alto impacto en el modelo, como es el PCS que tiene un coeficiente 0,151 con un P valor 0,016, mientras PCI tiene un coeficiente de -0,065 con un P valor de 0,641 señalando que tiene poca influencia en el modelo como la constante de -0,767 con un P valor de 0,777. A continuación, se construyó el modelo en la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{d = -0,767 + 0,151 * PCS - 0,065 * PCI - 0,002 * CH}$$

Donde:

d= densidad;

CH= contenido de humedad;

PCS = poder calorífico superior; y

PCI = poder calorífico inferior.

Comparación de poder calorífico con otras fuentes de energía.

Se compararon los resultados de poder calorífico de M. millei y A. guachapele, con otras fuentes de energía calorífica según el trabajo de San José R. (42) y los resultados obtenidos de esta investigación se ve reflejado en la siguiente Tabla 20.

Tabla 20: Comparación de PCS y PCI de fuentes fósiles de energía y de las taxas seccionadas

COMBUSTIBLE	DENSIDAD (g/cm^3)	PCI (Mj/Kg)	PCS (Mj/Kg)
Fuel Oil 1	*0,96*	*40,14*	*42,35*
Fuel Oil 2	*0,96*	*39,63*	*41,81*
Gasóleo C (Diésel C)	*0,89*	*41.81*	*44,06*
Gas propano	*--*	*46,29*	*50,29*
A. guachapele	*0,71*	*14,92*	*16,60*
M. millei	*0,93*	*14,58*	*17,74*

Autor: San José R. (42) y Jorge Rodríguez.

Se observa que las densidades entre los combustibles rondan del 0,89 a 0,96 g/cm^3, además de poseer un PCS máximo de 46,92 Mj/Kg e inferior de 39,63 Mj/Kg, superando al PCS de las especies estudiadas presentando valores de 17,74 Mj/Kg e inferior de 16,60 Mj/Kg, Es decir que la madera en comparación a combustibles derivados del petróleo elegidos para la comparación tiene una densidad energética menor. Se

necesitaría 2,48 Kg de leña de M. millei para igualar al PCS de 1kg de gasóleo C y 2,74 Kg de leña en el A. guachapele. En el PCI se observa que el comportamiento es similar siendo los combustibles derivados del petróleo superior a la leña producidas por las especies seleccionadas, teniendo que quemar 2,49 Kg de leña de M. millei para obtener la misma energía que el gasóleo C y en el A. guachapele se debe de quemar 2,80 kg. Esto se detalló en la Tabla 20.

Esto denota que la leña no puede superar a los combustibles fósiles en la generación de energía, pero hay que recalcar que la madera al ser consumida para la generación de energía, teniendo un buen manejo de los recursos forestales el impacto ambiental es mucho menor que el de los combustibles fósiles porque las emisiones de CO y CO_2 son captadas nuevamente en sistemas donde se utiliza la dendroenergía (biomasa) en el caso de los combustibles fósiles esto no sucede.

Se creó según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Rico J (43) una tabla, (Tabla 21) donde se detalla el PCS Y PCI de distintas fuentes de energía de biomasa.

Tabla 21: Comparación de PCS y PCI de otras fuentes de energía basadas en biomasa y de las taxas seccionadas

BIOMASA	PCI (Mj/Kg)	PCS (MJ/KG)
Residuo de campo	12,94	17,99
Cascarilla de arroz	13,19	17,29
Corteza de Coníferas	15,18	21,06
Corteza de Frondosas	14.11	19,55
A. guachapele	14,92	16,60
M. millei	14,58	17,74

Autor: Rico J (43) y Jorge Rodríguez

Se observa que en el PCS la corteza de conífera presenta una mayor densidad energética que las demás fuentes siendo que se requiere 1,19 Kg de leña de M. millei para igualar a la corteza de coníferas y en el caso de A. guachapele 1,26 Kg de leña. Estos valores son próximos entre ellos, y se observa que en otros este se encuentra próximo a la cascarilla de arroz y residuos de campo. En el PCI se observa que la leña de las dos especies seleccionadas es superior en su densidad energética, pero la corteza de conífera posee mayor poder calorífico, pudiéndose deber a que esta una cantidad considerable de resinas y gomas que mejoran sus propiedades energéticas. En comparación a residuos de campo se requiere 0,87 Kg de leña de A. guachapele para obtener la misma energía que en 1 Kg de residuos agrícolas y en el caso de M. millei requiere 0,89 kg. Esto se observa en Tabla 21.

Esto indica que, para el uso doméstico, artesanal y en uso industrial donde no se aproveche el PCS las especies seleccionadas son fuentes de energía más viables para su aprovechamiento y bajo el contexto de la zona rural donde se realizó la investigación se convierte en

una fuente de calor atractiva.

Propuestas para el uso de las especies *M. millei* y *A. guachapele* en la generación de energía renovable.

Se plantearon propuestas elaboras por el Instituto Nacional de Bosques (44), Castillo T. et al (45) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (46), adaptadas en base a la información generada dentro del estudio para las aplicaciones de *M. millei* y *A. guachapele* dentro del bosque de playa escondida, provincia de esmeradas.

Discusión

El (CH%) observado en este estudio indica que, estando la madera anhidra, es de 38,59% y presenta una densidad de 0,87 g/cm³ para *Machaerium millei*, mientras que para *Albizia guachapele*, el contenido de humedad CH% es de 36,52% con una densidad de 0,68 g/cm³. Esto sugiere que el contenido de humedad tiene una relación directa con la densidad, es decir, a mayor densidad de la madera, mayor será su contenido de humedad CH.

Sin embargo, cabe aclarar que el análisis estadístico determinó que no existen diferencias significativas en el CH (revise sección 3.1.4.1). Este resultado coincide con el estudio de Murillo Vergara V. (47), quien obtuvo valores de *Myroxylon balsamum L. Harms* con un CH de 34,94% y una densidad anhidra de 0,98 g/cm³, así como de la especie *Prosopis pallida*, con un CH de 37,82% y una densidad anhidra de 0,94 g/cm³.

En este estudio, se observó que el CH presenta una relación inversa con la densidad. No obstante, Uceda Castillo M. (48) afirma en su trabajo que, a mayor densidad, menor CH, lo que implica que la madera perderá menos energía en forma de vapor y su fuego será más constante. No obstante, cabe señalar que el mismo autor complementa su afirmación señalando que esto no se cumple en todos los casos, debido a diferencias químicas y microanatómicas.

Según Apolinar-Hidalgo F. et al (6), en su investigación, *Acacia pennatula* posee una densidad anhidra de 0,57 g/cm³ y se determinó que presenta un poder calorífico superior (PCS) de 18,57 ± 0,72 MJ/kg. Mientras que en la investigación sobre *A. guachapele*, se observó que presenta una densidad semejante de 0,68 g/cm³, pero un PCS inferior de 16,06 Mj/Kg, lo que indica que tiene una menor densidad energética. Esto se debe a factores como el clima, la edad, la especie y los tratamientos silviculturales, que afectan la composición química y micro anatomía de la madera. Cabe señalar que la especie *M. millei* posee una densidad de 0,87 g/cm³ y un poder calorífico de 17,74 MJ/kg, siendo menor en comparación.

En el estudio realizado por Estela-Urbina

R. et al (49), se analizó la especie *Prosopis pallida*, que pertenece a un clima similar al área de estudio. Se determinó que el *P. pallida* tiene una densidad anhidra de 0,56 g/cm³ y un PCS de 19,34 MJ/kg, siendo superior a *M. millei* y *A. guachapele*.

Este resultado apoya la afirmación de Uceda Castillo M. (46), que "la densidad de la madera no afecta de forma directa el poder calorífico", vinculable a los componentes extraíbles como resinas, aceites y gomas.

Conclusiones

- Se comparó el PCS y PCI de las especies de para *Machaerium millei* y *Albizia guachapele* con otros combustibles fósiles y distintas fuentes de biomasa. Determinado que la leña de *M. millei* y *A. guachapele* no tienen la misma densidad energética que las fuentes de energía fósil pero el impacto ambiental es mucho menor en comparación, y con otras fuentes de biomas tienen similares poderes caloríficos, lo cual lo hace viable su uso en distintos entornos, siendo más relevante en el artesanal y doméstico.
- Se compararon los valores de poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) de *M. millei* y *A. guachapele* con los de otros combustibles fósiles y distintas fuentes de biomasa. Se determinó que la leña de estas especies no posee la misma densidad energética que las fuentes fósiles; sin embargo, presenta un impacto ambiental considerablemente menor. Asimismo, los resultados mostraron que su poder calorífico es similar al de otras fuentes de biomasa, lo que hace viable su uso en diversos entornos, con mayor relevancia en aplicaciones artesanales y domésticas.
- Se desarrollaron cinco propuestas orientadas al aprovechamiento y conservación de la leña de *M. millei* y *A. guachapele*. Estas iniciativas fueron diseñadas considerando la situación específica del área de estudio, con el propósito de fomentar la preservación de los recursos forestales y la comercialización sostenible de la madera.

Recomendaciones

- Realizar estudios que analicen el poder calorífico con un mayor alcance de especies que se utilicen como leña, creación de carbón y/o tengan potencial dendroenergético dentro del área de estudio para su manejo, conservación y aprovechamiento, y con otros productos derivados de la leña como el carbón vegetal y/o pellests.
- Se recomienda incluir otras técnicas de análisis para determinar la composición química de la madera para determinar cómo estas influyen en la densidad energética que contiene la leña y caracterización de la combustión de la madera.
- Garantizar la disponibilidad de los

datos obtenidos y la información generada en plataformas científicas de acceso libre, permitiendo que otros expertos evalúen estos resultados y los utilicen como base para ampliar investigaciones relacionadas.

BIBLIOGRÁFIA

Aguilar Pozzer J, Guzowski E. Madera. En: Materiales y materias primas. Buenos Aires: Ministerio de Educación de Argentina; 2012.

Peña Murillo SE, Santamaría Robles AM, Zambrano Nevárez EM, Castillo Tomalá KL. Análisis de las técnicas de aprovechamiento de biomasa en América Latina. Revista Iberoamericana de educación. el 5 de febrero de 2025;9(1):73–94.

Minda Batallas PA. La deforestación en el norte de Esmeraldas: Los actores y sus prácticas [Tesis de maestria]. [Quito]: Universidad Politécnica Salesiana ; 2012.

GAD Parroquial Rural de Galera. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - PDOT del GAD Parroquial Rural Galera. Galera: GAD Parroquial Rural de Galera; 2014.

Caicedo M, Vallejo MC, Carrasco F. La pobreza como determinante del consumo doméstico de leña y su efecto en los bosques del Ecuador. Bosque (Valdivia). 2019;40(2):205–16.

Apolinar-Hidalgo F, Honorato-Salazar JA, Colotl-Hernández G. Caracterización energética de la madera de Acacia pennatula Schltdl. & Cham. y Trema micrantha (L.) Blume. Rev Mex Cienc For [Internet]. 2017 [citado el 14 de abril de 2025];8(39):71–82. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000100071&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Cruz De La Torre BB, Simon Villanueva C. Poder calorífico de la madera de Polylepis racemosa R & P. y Schinus molle L. de dos procedencias [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [HUANCAYO]: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2019 [citado el 19 de julio de 2025]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12894/515

Godoy Valdiviezo PC. Análisis del poder calorífico de Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor para la elaboración de carbón en el cantón Guano, provincia de Chimborazo [Internet] [Tesis para licenciatura]. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2022 [citado el 8 de abril de 2025]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16109

Cedeño Valdiviezo A. La madera. ¿Una alternativa para proteger el medioambiente? Revista de Arquitectura (Bogotá) [Internet]. 2013;15:111–9. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12

5130521012

Aguirre Mendoza NA. Influencia de la diversidad y estructura arbórea sobre la regeneración natural en el bosque seco tropical de la reserva ecológica Arenillas (REA) [Internet] [Tesis de licenciatura]. [Loja]: Universidad Nacional de Loja; 2015 [citado el 6 de julio de 2024]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10278

Schallenberg Rodríguez JC, Piernavieja Izquierdo G, Hernández Rodríguez C, Unamunzaga Falcón P, García Déniz R, Díaz Torres M, et al. Energías renovables y eficiencia energética [Internet]. 1a ed. es, editor. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A; 2008 [citado el 9 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf

Spiegeler C, Cifuentes JI. Definición e información de energías renovables [Internet]. Universidad San Carlos de Guatemala; 2016 [citado el 10 de julio de 2024]. Disponible en: http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4455

Barrón Cornejo A, Centurión Cruz M, Ferreyros Corigliano L, Forero Chávez G, López Velásquez G, Markovinovic Godoy L. La importancia del uso de energías renovables en centros comerciales en Lima [Internet]. Lima; 2021 [citado el 12 de julio de 2025]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12724/14421

Vivanco Font EJ. Energías renovables y no renovables: Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [Internet]. agosto de 2020 [citado el 10 de julio de 2024]; Disponible en: http://www.bcn.cl/asesoriatecnicaparlamentaria/detalle_documento.html?id=76392

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Introducción a la dendroenergía [Internet]. FAO; 2020 [citado el 13 de julio de 2024]. Disponible en: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/introduccion-a-la-dendroenergia.pdf

Avilés Jiménez MJ. Estimación de biomasa en plantaciones de teca (Tectona grandis) de la región Costa del Ecuador por medio de ecuaciones alométricas. [Internet] [Tesis para licenciatura]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil; 2020 [citado el 13 de julio de 2025]. Disponible en: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14312

Montero González G, Ruiz-Peinado R, Sánchez Jiménez V. La biomasa forestal: gestión y viabilidad

[Internet]. Fundación Construcción y Madera; 2010. Disponible en: https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/63eae483b6c6524c38689a7c

Chicaiza Aucancela MR. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: Platuquero, Pino Caribe y Pino Patula. [Internet] [Tesis de licenciatura]. [Riobamba]: Universidad Nacional de Chimborazo; 2022 [citado el 14 de julio de 2025]. Disponible en: http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8879

Juela Quizhpe TC. Caracterización de las propiedades físicas de la madera de Eucalyptus saligna Smith en la provincia de Loja [Internet] [Tesis para licenciatura]. [Loja]: Universidad Nacional de Loja; 2015 [citado el 14 de julio de 2024]. Disponible en: http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10310

Serrano Delgado SP. Influencia del contenido de humedad sobre las propiedades físicas, densidad y contracción de tres especies forestales [Internet] [Tesis de licenciatura]. [Jipijapa]: Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2019 [citado el 15 de julio de 2025]. Disponible en: http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1928

Suirezs TM, Berger G. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera [Internet]. 1a ed. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones; 2010 [citado el 19 de julio de 2025]. Disponible en: https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf

Sánchez Alvarez LA. Secado artificial de tres especies maderables, guachapelí (Albizia guachapelí); samán (Samanea saman) y guasmo (Guazuma ulmifolia), para determinar el contenido de humedad y la estabilidad dimensional de las especies en estudio [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Jipijapa]: Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2013 [citado el 16 de julio de 2025]. Disponible en: http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/116

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Norma Ecuatoria de construcción: Estructura de madera [Internet]. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Quito; 2014 [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf

Instituto Ecuatoriano de Normalización. Maderas. Determinación Del Contenido de Humedad. Quito: INEN; 2012.

Abad Cordero YM. Composición química de la madera de Cedrela odorata

L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe [Internet] [Tesis para licenciatura]. [Loja]: Universidad Nacional de Loja; 2021 [citado el 16 de julio de 2024]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23832

Suarez A, Bullon J. Ligninas: Generalidades, métodos de obtención y aplicaciones [Internet]. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, editores. Merida: Universidad de Los Andes; 2022 [citado el 17 de julio de 2024]. Disponible en: https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2020/11/S315B.pdf

Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER). Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales [Internet]. Lima; 2013 jun [citado el 18 de julio de 2025]. Disponible en: https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Estudio%20de%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica.pdf

Rosales Torres MD. Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de Alnus acuminata Kunth, en la ciudad de Loja [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Loja]: Universidad Nacional de Loja; 2014 [citado el 18 de julio de 2024]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/30027

Carchi Maurat de Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Cuenca]: Universidad de Cuenca; 2014 [citado el 18 de julio de 2024]. Disponible en: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5292

Carmona Cerda RJ. Caracterización Física, Química y Energética de Biomasa Leñosa como materia prima leñosa [Internet] [Tesis doctoral]. [Chile]: Universidad de Córdoba; 2015 [citado el 18 de julio de 2024]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10396/13089

Jarabo Friedrich F. La energía de la biomasa. 2a ed. Madrid: S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L.; 1999.

Pinilla Suárez JC, Hernández C. G. Poder calorífico de Acacia dealbata Link crecida en Chile. Ciencia & Investigación Forestal [Internet]. el 11 de julio de 2010;16(3):353–79. Disponible en: https://revista.infor.cl/index.php/infor/article/view/354

Cruz De La Torre BB, Simon

Villanueva C. Poder calorífico de la madera de Polylepis racemosa R & P. y Schinus molle L. de dos procedencias [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Huancayo]: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2019 [citado el 19 de julio de 2025]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12894/5154

Echeverría Cruz MA, López Mena OA. Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Quito]: Escuela Politecnica Nacional; 2010 [citado el 22 de julio de 2024]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2058

Otero Ulloa AF. Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixtos generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015 [Internet] [Tesis]. [Ambato]: Universidad Internacional SEK; 2015 [citado el 23 de julio de 2024]. Disponible en: https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1509

Valverde Rodríguez JX. Composición química de la madera de Juglans neotropica Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Loja]: Universidad Nacional de Loja; 2020 [citado el 25 de julio de 2024]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23729

Vivas Villarreal KN. Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino [Internet] [Tesis para Licenciatura]. [Ambato]: Universidad Técnica de Ambato; 2016 [citado el 14 de julio de 2024]. Disponible en: http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24052

Quintana Zambrano JJ. Germinabilidad de semillas de siete especies forestales de bosque seco tropical de la provincia de Manabí, año 2019 [Internet] [Obtención de título de tercer nivel]. [Quevedo]: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2019 [citado el 2 de febrero de 2024]. Disponible en: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/33696d26-f0b7-4109-967e-d5255899bc96/content

Aguirre Mendoza Z. Especies forestales de los bosques secos del Ecuador: Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador - MAE; 2012.

Asociación Española de Normalización. Biocombustibles sólidos Determinación del poder calorífico (UNE-EN ISO 18125). Asociación Española de

Normalización. Madrid: Asociación Española de Normalización; 2018.

IBM Corp. IBM SPSS Statistics para Windows. Nueva York: IBM Corp; 2021.

San José R. Combustión y Combustibles [Internet]. Kimerius; 2001 [citado el 21 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Rico J. Manual de energías renovables: Energía de la biomasa [Internet]. 2a ed. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE); 2007 [citado el 21 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.idae.es/publicaciones/energia-de-la-biomasa

Instituto Nacional de Bosques. Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013 - 2014. Serie 002. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques; 2015.

Castillo T, García F, Mosquera L, Rivadeneira T, Segura K, Yujato M. Panorama Energético para América Latina y el Caribe 2023 [Internet]. 1a ed. Quito: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE); 2023 [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2023/

Rose S, Remedio E, Miguel T, editores. Criteria and indicators for sustainable woodfuels [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2009 [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.fao.org/4/i1321e/i1321e00.htm

Murillo Vergara VE. Determinación de las propiedades físicas de tres especies forestales del bosque seco tropical de Manabí [Internet] [Tesis de licenciatura]. [JIPIJAPA]: Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2018 [citado el 29 de abril de 2025]. Disponible en: http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1135

Uceda Castillo M. Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonia peruana. Revista Forestal del Perú. 12(1):1–15.

Estela-Urbina RO, Contreras-Barsallo E, Carrasco-Vega YL, García-Soto CE, Mendoza-Virhuez NE, Castro-Vargas DJ. Comparación del poder calorífico de la fibra de coco con la madera del algarrobo (Prosopis pallida). Entorno [Internet]. el 9 de diciembre de 2022;1(72):7–20. Disponible en: https://camjol.info/index.php/entorno/article/view/13234