



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE DIVERSAS ESPECIES LEÑOSAS  
DE LA REGIÓN CHONTALPA DE TABASCO CON FINES ENERGÉTICOS”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

SINAHÍ HERNÁNDEZ ZARAGOZA

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DRA. LILIANA PAMPILLÓN GONZÁLEZ

EN CODIRECCIÓN:

DRA. NANCY GUADALUPE GONZÁLEZ CANCHÉ

VILLAHERMOSA, TABASCO, OCTUBRE 2024.

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 11 del mes de septiembre del año 2024, el que suscribe **Sinahi Hernández Zaragoza** alumna del Programa de **Ingeniería Ambiental** con número de matrícula **192G24008** adscrita a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora de la Tesis presentada para la obtención del título de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** y titulada **"Caracterización fisicoquímica de diversas especies leñosas de la región chontalpa de tabasco con fines energéticos"** dirigida por la Dra. Liliana Pampillón González y la Dra. Nancy Guadalupe González Canché

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 12 de agosto 2024.

  
Sinahi Hernández Zaragoza  
Nombre y Firma del Tesista



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024**  
**Felipe Carrillo**  
**PUERTO**  
MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 12 de Septiembre de 2024

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON**  
**JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION**  
**DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. SINAHÍ HERNÁNDEZ ZARAGOZA** egresada de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE DIVERSAS ESPECIES LEÑOSAS DE LA REGIÓN CHONTALPADE TABASCO CON FINES ENERGÉTICOS"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA**  
**DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA**  
**DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024**  
**Felipe Carrillo**  
**PUERTO**  
PROFESOR DE LA ESCUELA NACIONAL  
DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS  
EN MÉRIDA  
YUCATAN  
MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

SEPTIEMBRE 12 DE 2024

**C. SINAHI HERNÁNDEZ ZARAGOZA  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE DIVERSAS ESPECIES LEÑOSAS DE LA REGIÓN CHONTALPADE TABASCO CON FINES ENERGÉTICOS"**, asesorado por la Dra. Liliana Pampillón González y Dra. Nancy Guadalupe González Canché, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dra. Rocío López Vidal, Dra. Liliana Pampillón González, Dr. Arturo Valdés Manzanilla y Dra. Diana Ayala Montejo.

**A T E N T A M E N T E  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.





**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024  
Felipe Carrillo  
PUERTO  
PRESIDENTE DE REPÚBLICA CON  
PROCLAMACIÓN DE INDEPENDENCIA  
DE MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

10 de septiembre de 2024

**C. Sinahi Hernández Zaragoza  
Pasante de la Lic. en Ingeniería Ambiental.  
PRESENTE**

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (Tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su documento de tesis "**Caracterización fisicoquímica de diversas especies leñosas de la región Chontalpa de Tabasco con fines energéticos**".

OBSERVACIONES:

Se incluyeron citas, se excluyó bibliografía y fuentes pequeñas, y se limitó el tamaño de coincidencias a 10 palabras.

<b>RESULTADO DE SIMILITUD</b>	<b>7 %</b>
	<b>10012 palabras, 42 coincidencias y 29 fuentes</b>

Finalmente, se le solicita a la **C. Sinahi Hernández Zaragoza**, integrar en la versión final del trabajo recepcional (Tesis), este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

**U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p. Dra. Liliana Pampillón González. Directora de tesis  
C.c.p. Dra. Nancy Guadalupe González Canché  
C.c.p. Archivo

# Caracterización fisicoquímica de diversas especies leñosas de la región Chontalpa de Tabasco con fines energéticos

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://energiaadebate.com">energiaadebate.com</a> Internet	80 palabras — 1%
2	<a href="http://base.energia.gob.mx">base.energia.gob.mx</a> Internet	48 palabras — 1%
3	<a href="http://pdffox.com">pdffox.com</a> Internet	41 palabras — < 1%
4	<a href="http://ecosur.repositorioinstitucional.mx">ecosur.repositorioinstitucional.mx</a> Internet	40 palabras — < 1%
5	<a href="http://bioresources.cnr.ncsu.edu">bioresources.cnr.ncsu.edu</a> Internet	34 palabras — < 1%
6	<a href="http://imc-yucatan.espora.org">imc-yucatan.espora.org</a> Internet	34 palabras — < 1%
7	<a href="http://res.mdpi.com">res.mdpi.com</a> Internet	33 palabras — < 1%
8	<a href="http://sidalc.net">sidalc.net</a> Internet	29 palabras — < 1%
9	<a href="http://www.ecosur.mx">www.ecosur.mx</a> Internet	27 palabras — < 1%

10	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Internet	27 palabras — < 1%
11	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Internet	24 palabras — < 1%
12	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet	23 palabras — < 1%
13	<a href="http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083">bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083</a> Internet	22 palabras — < 1%
14	<a href="http://www.mdpi.com">www.mdpi.com</a> Internet	20 palabras — < 1%
15	<a href="http://www.gob.mx">www.gob.mx</a> Internet	16 palabras — < 1%
16	<a href="http://www.hindawi.com">www.hindawi.com</a> Internet	16 palabras — < 1%
17	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Internet	13 palabras — < 1%
18	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet	13 palabras — < 1%
19	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet	13 palabras — < 1%
20	<a href="http://agrocienza-colpos.mx">agrocienza-colpos.mx</a> Internet	12 palabras — < 1%
21	<a href="http://www.pinterest.es">www.pinterest.es</a> Internet	12 palabras — < 1%

[repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080](http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080)

22	Internet	11 palabras — < 1%
23	buscadorinfo.unan.edu.ni Internet	10 palabras — < 1%
24	lta.reuters.com Internet	10 palabras — < 1%
25	repositorio.udec.cl Internet	10 palabras — < 1%
26	repositorio.unitec.edu Internet	10 palabras — < 1%
27	www.energyupgradeca.org Internet	10 palabras — < 1%
28	www.inmegem.org.mx Internet	10 palabras — < 1%
29	www.monografias.com Internet	10 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

DESACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 10 PALABRAS

## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 12 de agosto 2024.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR(A) y/o AUTORES(RAS) en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **“Caracterización fisicoquímica de diversas especies leñosas de la región chontalpa de tabasco con fines energéticos”** Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES



Sinahi Hernández Zaragoza

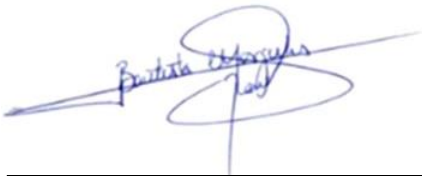


Dra. Liliána Pampillón González



Dra. Nancy Guadalupe  
González Canché

### TESTIGOS



Dr. Raul German Bautista Margulis



Dr. Arturo Valdes Manzanilla

## AGRADECIMIENTOS

A mi Dios por permitirme llegar hasta este día, ya que sin Él no sería nada de lo que soy hoy.

A mi esposo Edgar, por que siempre me llevó de la mano y nunca me soltó, cada que quería rendirme me levantaba y hacía todo por animarme siempre. Te amo, amo la vida contigo.

A mis asesoras, que nunca me dejaron sola y siempre me apoyaron en todo, me ofrecieron todos sus conocimientos, sabiduría y amistad.

A mi mamá por ser mi ejemplo que seguir, y por nunca dudar de mí, por ser tan valiente y criarme sola con todo el amor del mundo, a pesar de tantas dificultades.

A mi bebé Regina, que es mi motor más grande.

A mi abuelo Flavio y a mi abuela Francisca, por ser mis segundos padres, y cuidarme desde bebé, gracias a ellos nunca me faltó un hogar.

A mis tíos: Marco, Bertha, Beny, Nancy, Fernando, que siempre vieron por mí.

A mi mejor amiga Andrea que a pesar de la distancia, nunca me ha dejado sola y es como mi hermana.

A mis suegros que también son como unos padres para mí.

A mis cuñados que son como mis hermanos.

A mis amigas de la universidad que, sin ellas, los días hubieran sido muy aburridos. Ana, Lesly, Karexy, Karen y Hugo.

## CONTENIDO

INDICE DE TABLAS .....	16
INDICE DE FIGURAS .....	17
RESUMEN .....	18
PALABRAS CLAVES.....	19
ABSTRACT .....	20
CAPITULO 1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
INTRODUCCIÓN.....	21
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	22
HIPÓTESIS.....	23
OBJETIVOS.....	24
OBJETIVO GENERAL.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
JUSTIFICACIÓN .....	25
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO .....	26
ANTECEDENTES.....	26
FUNDAMENTOS.....	30
1. EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.....	30
2. LA LEÑA Y SUS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS .....	33
3. ASPECTOS AMBIENTALES Y TÉCNICOS DE LA LEÑA.....	34
CAPITULO 3: METODOLOGÍA .....	36
1. ÁREA DE ESTUDIO .....	37
2. OBTENCIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL.....	38
3. PRE- TRATAMIENTO DE LA BIOMASA PARA CARACTERIZACIÓN.....	40
4. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA.....	42
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47

PARÁMETROS FÍSICOS DE LA BIOMASA.....	47
ANÁLISIS PROXIMAL.....	51
PROPIEDADES ENERGÉTICAS.....	52
ÍNDICE DE CALIDAD DE ESPECIES LEÑOSAS .....	54
CONCLUSIONES.....	57
PERSPECTIVA.....	59
REFERENCIAS CITADAS.....	60
ANEXOS .....	65
Carta aceptación congreso REMBIO .....	65
Constancia de participación congreso REMBIO .....	65
Anexo 7. ....	66

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Antecedentes en investigaciones relacionadas al uso de leña.....	28
Tabla 2: Principales Biocombustibles.....	31
Tabla 3: Evolución de la generación total de energía eléctrica 2018-2022.....	32
Tabla 4: Coordenadas geográficas de sitios de muestreo.....	38
Tabla 5: Especies leñosas más utilizadas en la zona de la Chontalpa.....	39
Tabla 6: Propiedades físicas, proximales y energéticas de las 18 especies leñosas....	49
Tabla 7: Propiedades deseables de la leña para ser considerada de calidad.....	56

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de la leña.....	33
Figura 2: Metodología.....	36
Figura 3: Municipios seleccionados para sitio de muestreo.....	37
Figura 4: Leña con corteza.....	40
Figura 5: Muestras de 15 cm x 5 cm x 2 cm.....	41
Figura 6: Preparación de muestras en polvo.....	41
Figura 7: Muestras de 5 cm x 5 cm x 2 cm.....	41
Figura 8: Determinación de densidad.....	42
Figura 9: Proceso de determinación del poder calorífico.....	43
Figura 10: Relación entre poder calorífico y contenido de cenizas.....	53
Figura 11: FVI índice del valor del combustible.....	55

## RESUMEN

El uso de la leña especialmente en comunidades rurales es de gran importancia. Sin embargo, los estudios técnicos con enfoque de valorización energética son limitados, se requiere más información al respecto, que sea sustento para evitar su uso desmedido y deforestación.

Es por ello por lo que la siguiente investigación tuvo como objetivo analizar las características físicas, proximales y energéticas de 18 especies preferidas en la zona de La Chontalpa en estado de Tabasco, México. Se evaluaron la humedad, densidad aparente, contenido de volátiles, carbono fijo, contenido de cenizas, poder calorífico superior, así como el índice de calidad energética de biomasa leñosa denominado FVI.

La humedad de la madera varió de 1.3% y 3.65% siendo *Cedrela odorata* y *P. guajava* las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. La densidad aparente varió de 0.28 g/cm<sup>3</sup> y 0.85 g/cm<sup>3</sup> siendo *Lippia myriocephala* y *R. mangle* las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. El contenido de volátiles varió de 97.21% y 99.54%, siendo *Salix alba* la que mostró el valor mínimo y *Tabebuia rosea* el valor máximo. El carbono fijo varió de 1.03% y 6.14% siendo *Tabebuia rosea* y *Avicennia germinans* las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. El contenido de cenizas varió de 0.56% y 4.85% siendo *Tabebuia rosea* la que mostró el valor mínimo y *Avicennia germinans* el valor máximo. El poder calorífico superior varió de un valor mínimo de 15.01 MJ/kg para *Avicennia germinans* a 17.77 MJ/kg como valor máximo para *Gliricidia sepium*. En cuanto al índice de valor de combustible se encontró el valor máximo para *Diphysa americana* con 110.28 y el mínimo para *Avicennia germinans* con 6.52.

Las leñas que obtuvieron las mejores propiedades para ser utilizadas como un bioenergético y que cumplen con los estándares de calidad fueron: Chipilín (*Diphysa americana*), Macuili (*Tabebuia rosea*), Cedro (*Cedrela odorata*), Cesniche (*Lippia myriocephala*) y Tinto (*Lippia myriocephala*).

**PALABRAS CLAVES:** índice de valor de combustible; Leña; Poder calorífico, biocombustible

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## ABSTRACT

The use of firewood, especially in rural communities, is of great importance. However, technical studies focusing on energy valorization are limited. It is required more information about it that could be the base to avoid its excessive use and deforestation.

Therefore, the following research aimed to analyze the physical, proximal, and energetic characteristics of 18 preferred species in the region of La Chontalpa, Tabasco, Mexico. Moisture content, apparent density, volatile content, fixed carbon content, ash content, high heating value, as well as an index of woody biomass energy quality called FVI.

The moisture content of the wood ranged from 1.3% to 3.65%, with *Cedrela odorata* and *P. guajava* showing the minimum and maximum values, respectively. The apparent density varied between 0.28 g/cm<sup>3</sup> and 0.85 g/cm<sup>3</sup>, with *Lippia myriocephala* and *R. mangle* exhibiting the minimum and maximum values, respectively. The volatile content ranged from 97.21% to 99.54%, with *Salix alba* showing the minimum and *Tabebuia rosea* the maximum value. Fixed carbon varied from 1.03% to 6.14%, with *Tabebuia rosea* and *Avicennia germinans* presenting the minimum and maximum values, respectively. Ash content varied from 0.56% to 4.85%, with *Tabebuia rosea* showing the minimum and *Avicennia germinans* the maximum value. The higher heating value ranged from a minimum of 15.01 MJ/kg for *Avicennia germinans* to a maximum of 17.77 MJ/kg for *Gliricidia sepium*. Regarding the fuel value index, the maximum value was found for *Diphysa americana* at 110.28 and the minimum for *Avicennia germinans* at 6.52.

The firewood that obtained the best properties to be used as biofuel and achieve quality standards were: Chipilin (*Diphysa americana*), Macuili (*Tabebuia rosea*), Cedro (*Cedrela odorata*), Cesniche (*Lippia myriocephala*), and Tinto (*Lippia myriocephala*).

**Keywords:** FVI; wood; calorific value; biofuels.

# CAPITULO 1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

## INTRODUCCIÓN

El 20 % de la población nacional en la actualidad utiliza la leña para cocinar y calentar sus hogares según estudios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010). Sin embargo, en las zonas rurales, este tipo de biomasa sigue siendo la principal o única fuente de energía para la preparación de alimentos. El esquema actual de extracción y consumo no responde a esquemas de sustentabilidad, promoviendo su desperdicio y combustión ineficiente; aún es necesario un mayor entendimiento de las propiedades fisicoquímicas y energéticas de las especies leñosas que permitan su aprovechamiento sustentable (Castillo, 2023).

Además de las afectaciones a la salud humana, la recolección de estos biocombustibles y del carbón vegetal es una de las principales causas de la degradación forestal y de la producción de CO<sub>2</sub>, (UNAM, 2015). Debido a que los combustibles fósiles son igual o más contaminantes, aún existe la necesidad de explorar otras formas más responsables de utilizar la energía proveniente de la leña. Por ejemplo, en el estado de Tabasco se presenta una alta dependencia de la leña con un 31.8 % del consumo total solo por debajo del gas licuado de petróleo (GLP), que representa el 64.8 %, marcando la diferencia entre las distintas regiones del país, siendo la región tropical la de mayor porcentaje (INEGI, 2018).

Lo que nos deja claro, que además de preocuparnos por la transición a nuevas fuentes de energía no contaminantes, también se debe empezar a regular el uso responsable de las fuentes de energía tradicionales, entendiendo sobre todo la realidad cultural de las personas, y el acceso que tienen a las nuevas fuentes de energías.

Bajo este contexto la presente investigación, tiene el propósito de evaluar las propiedades fisicoquímicas y energéticas de las especies leñosas de la región de la Chontalpa, con el fin de poder contribuir a entender la relación entre su uso y propiedades para hacer un uso responsable y más regulado de las especies leñosas de nuestra

región, a partir de la aplicación de metodologías estandarizadas y validadas que permitan determinar sus principales características como fuente de energía.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es la calidad de especies leñosas utilizadas como biocombustible para obtener energía en la región de la Chontalpa en el Estado de Tabasco de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas?

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## **HIPÓTESIS**

Las especies leñosas usadas como biocombustible en la región de la Chontalpa son de baja calidad.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar las propiedades físicas, proximales y energéticas de especies leñosas utilizadas como biocombustible en la región de la Chontalpa en el Estado de Tabasco.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas, proximales y energéticas de las especies leñosas.
- Determinar la calidad mediante el FVI (Fuel Index Value), de las especies leñosas utilizadas como biocombustible en la región de la Chontalpa.
- Comparar las propiedades físicas, proximales y energéticas de las especies leñosas para determinar la leña de mejor calidad para ser usada como biocombustible.

## JUSTIFICACIÓN

Como parte de los compromisos y para dar continuidad a la investigación desarrollada sobre especies leñosas en el marco del proyecto “Plataforma multi-actor para la democratización energética desde iniciativas de economía social y solidaria en comunidades rurales-urbanas en Tabasco” financiado por CONAHCYT. El presente trabajo busca evaluar las propiedades fisicoquímicas, proximales y energéticas de 18 especies leñosas utilizadas en la región de la Chontalpa del estado de Tabasco. La importancia de realizar estos estudios es proporcionar información importante sobre el poder calorífico y los parámetros proximales, para así poder clasificar y dar recomendaciones para la producción de leña de calidad.

Esto se origina debido al excesivo empleo de leña en las áreas rurales, lo que contribuye a la deforestación de determinadas especies debido a la falta de conocimiento acerca de sus propiedades como fuente de energía proveniente de la madera. De este modo, se busca promover la utilización de leña que genere menos emisiones de gases de efecto invernadero al producir menos humo en la atmósfera, especialmente al optar por especies menos preferidas (Márquez,2016).

Con relación al aspecto económico y social sobre el uso de la leña, se estima que el 89% de hogares en México en zonas rurales utilizan principalmente la leña para la preparación de sus alimentos, esto debido a que no se tienen los recursos suficientes para ocupar estufas de gas que funcionan con gas GLP (Morales *et al.*, 2019). Además, los recolectores de leña la venden y así tienen un ingreso económico extra a su hogar.

La recolección de leña se convierte entonces en una actividad familiar, ya que se conoce que toda la familia participa en ello, desde las mujeres y hombres hasta los niños. Sin embargo, esta actividad al no ser regulada, y los mismos habitantes no tener acceso a la información sobre la sobreexplotación de ciertas especies leñosas, con sus actividades ocasionan la degradación del medio de los que ellos mismos se favorecen. Es por ello que, con el presente estudio, se contribuirá al conocimiento sobre las especies leñosas con propiedades idóneas, que se deben de considerar en futuras reforestaciones.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

### ANTECEDENTES

La biomasa es una fuente de energía que proviene de la transformación ya sea biológica o natural de la materia orgánica, la energía que se aprovecha es la proveniente del sol, que es fijada en el proceso fotosintético (Fernández, 2023). Existen muchos tipos de biomasa, y pueden diferenciarse dependiendo su origen o naturaleza, en el que nos enfocamos es en la biomasa sólida, que puede provenir de la agricultura o el sector forestal, la más importante es la primaria que constituye materiales lignocelulósicos, y también de residuos del mismo grupo.

En el mundo, la leña tiene un uso muy importante desde que se descubrió el fuego, principalmente los países en desarrollo que son aquellos que la utilizan para su uso en el hogar (FAO, 2006). Se estima que el 86% de la biomasa sólida producida y consumida pertenece a países que no son parte de la OCDE como lo reporta Cerda (2012).

En México, un país en vías de desarrollo, la leña es utilizada de manera importante como lo indica Alvarado et. al (2018), 21.1 millones de personas en zona rural y 4.5 millones en zonas urbanas la utilizan y los estados que más uso le dan son: Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Puebla y el Estado de México (Maserá et al. 2011). Teniendo en cuenta que la leña, seguirá siendo fundamental como fuente de energía, es de gran interés el análisis y caracterización de todas las especies que se utilizan mayormente. Tal es el caso de estudios realizados mundialmente, así como en México. (Tabla 1).

En el caso del sureste de Etiopía, Manaye et. al (2020) estudiaron las 5 especies más usadas por las comunidades locales, que son: *Acacia nilótica*, *Acacia etbaica*, *Olea africana*, *Sello de Acacia*, *Acokanthera schimperi*. Midiendo las siguientes propiedades: densidad, humedad, porcentaje de materia volátil, cenizas y carbono fijo. Encontrando que las especies, cuentan con un alto contenido de humedad y de volátiles, así como de bajo contenido de carbono fijo, por ello concluyeron que la elección de las especies más utilizadas no es conforme a una evaluación científica de sus propiedades si no de la cercanía que tienen a esas determinadas especies. El caso contrario ocurre con el Pino Marítimo Portugués en donde Dos Santos et al. (2018), evaluaron la humedad, densidad,

poder calorífico, análisis próximo y último, y se encontró que por sus altos niveles de poder calorífico es una buena fuente de energía potencial y el Índice de Valor del Combustible (FVI, por sus siglas en inglés) de el tallo es de alta calidad.

Otros datos del FVI de diferentes especies las estudian Cardoso et al. (2015) de las 21 especies más usadas de leña en el noroeste patagónico, cuyos resultados mayores de este parámetro coinciden con el favoritismo de la comunidad que son: *Berberis microphylla*, *Prosopis denudans*, *Schinus johnstonii*, *Lycium spp.*, *Senecio subulatus* y *Schinus marchandii*.

En México, en los estados de Yucatán y Oaxaca también se analizaron distintas especies preferidas por comunidades locales, en el caso de Mérida fueron 6 especies analizadas por sus propiedades químicas y térmicas, y analizando los valores del FVI las mejores para uso de leña son *S. gaumeri* y *L. yucatanensis*. (Rodríguez et al., 2019). Para Oaxaca fueron 22 especies analizadas, se determinó densidad, análisis proximal y alto poder calorífico, utilizando como medida de calidad energética el (FN) que toma en cuenta la densidad, carbono fijo y alto poder calorífico, de acuerdo con este estándar la mejor leña es *Quercus rugosa*.

En Chiapas, Márquez (2016), investiga las propiedades dendroenergéticas de las especies leñosas más utilizadas en comunidades de la reserva de la biosfera selva el Ocote. Se analizaron 39 especies en los hogares, las cuales los usuarios reconocen con propiedades comunes como lo son: el tipo de flama, facilidad de ignición, cantidad de ceniza, entre otras. Estas propiedades científicamente se pueden analizar en laboratorio. Encontrando así que las especies más utilizadas no son necesariamente las que tienen mayores niveles de FVI, si no por el contrario, se eligen las que estén disponibles cerca de su entorno.

Tabla 1. Antecedentes en investigaciones relacionadas al uso de leña.

Año	Nombre del Artículo	Descripción de la Investigación	Autores	Ciudad, País
2014	<i>Biomass competition, properties and characterization.</i>	Manual de conocimiento general de la biomasa, propiedades y caracterización.	Wiebren de Jong	Netherlands
2018	<i>Aprovechamiento de la biomasa para uso energético.</i>	Amplia visión del aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía.	Borja Velázquez Martí	España
2019	<i>Chemical Composition and Thermal Properties of Tropical Wood from the Yucatán Dry Forests</i>	Análisis de propiedades químicas y térmicas de 6 diferentes especies de comunidades de Yucatán.	Sergio Rodríguez-Jiménez, Santiago Duarte-Aranda, and Gonzalo Canché-Escamilla	México
2015	<i>Preference and calorific value of fuelwood species in rural populations in northwestern Patagonia</i>	Análisis energético de 21 especies preferidas en el noroeste de la Patagonia.	Cardoso, M. B., Ladio, A. H., Dutrus, S. M., & Lozada, M.	Argentina
2018	<i>Evaluation of the Physical, Chemical and Thermal Properties of Portuguese Maritime Pine Biomass</i>	Evaluación de las propiedades físicas, químicas y térmicas del Pino Marítimo, especie más cultivada en Portugal.	Filipe dos Santos Viana, H. Martins Rodrigues, A., Godina, R., Carlos de Oliveira Matias, J., & Jorge Ribeiro Nunes, L	Portugal

2020	<p><i>Determination of Energy Properties of Fuelwood from Five Selected Tree Species in Tropical Highlands of Southeast Ethiopia</i></p>	<p>Determinación de propiedades energéticas de 5 especies leñosas en el sureste de Etiopía.</p>	<p>Destá, H. M., &amp; Ambaye, C. S.</p>	<p>Etiopía</p>
2022	<p><i>Energy Properties of 22 timber Species from Oaxaca, Mexico</i></p>	<p>Determinación de las propiedades energéticas de 22 especies en Oaxaca.</p>	<p>Ruiz-Aquino, F., Jiménez-Mendoza, M. E., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., Aquino-Vásquez, C., &amp; Rutiaga-Quñones, J. G.</p>	<p>México</p>
2016	<p><i>Propiedades Dendroenergéticas de las especies arbóreas utilizadas para leña en comunidades de la reserva de la biosfera selva el ocote, Chiapas, México.</i></p>	<p>Determinación de propiedades dendroenergéticas de 39 especies de leña más utilizadas en comunidades, y su relación con su uso y aprovechamiento.</p>	<p>Márquez Reynoso Mirna Ivett</p>	<p>México</p>

## FUNDAMENTOS

### 1. EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.

La bioenergía se ha popularizado en los últimos años, esto debido a que la principal fuente de energía en el mundo es por medio de combustibles fósiles, situación que ya es insostenible a largo plazo por su escasez y el daño que causa al ambiente al liberar CO<sub>2</sub>, principal gas precursor del efecto invernadero; (Larrañaga,2010).

La obtención de este tipo de energía proviene de la biomasa, que ha sido explotada desde tiempos antiguos, algunas ventajas de su uso son: emisiones neutras, gases de efecto invernadero (GEI) ya existentes en la atmósfera, capacidad de sustituir a los combustibles fósiles, aprovechamiento de residuos orgánicos, generador de empleos, fácil almacenamiento, entre muchos más, (Sampeiro & Jiménez, 2010).

La biomasa se puede obtener de diferentes fuentes, entre ellas se encuentran dos grandes grupos que son: Biomasa virgen y residuos. En el primer grupo encontramos lo que son plantas, madera, hojas, cultivos y hortalizas. Mientras que en el segundo se pueden encontrar en estado sólido o líquido como aguas residuales, gases derivados de vertederos, desechos agrícolas o forestales o residuos sólidos urbanos (RSU), (Basu,2010).

Para el año 2012, se estimó que el porcentaje que representa la bioenergía era de un 10.1% del total de la demanda mundial de energía, así mismo se calculó que para el año 2040 la demanda incrementará al 10.9% (IEA,2014). En cuanto a la demanda mundial de biocombustibles se calcula que ha aumentado un 5% lo cual es equivalente aproximadamente a 2 millones de barriles de petróleo equivalente por día (IEA,2023).

De acuerdo con la segunda edición del World Energy Employment de 2023 (WEE), de la Agencia Internacional de Energía por sus siglas en inglés (IEA), Brasil, Indonesia y Estados Unidos son los países con más empleos en el sector de bioenergía con un 30% mundial, tomando en cuenta desde el cultivo de materias primas hasta la construcción de plantas de procesamiento. Así mismo China y en 2022 se encontraba como el mayor productor de biogás, seguido de Estados Unidos y Europa.

Mundialmente, se espera un aumento del empleo en el sector de bioenergía, de acuerdo con los dos escenarios STEPS Y NZE (Escenarios de Transición Energética y Escenario de Neutralidad de Emisiones por sus siglas en inglés) el primero marca un aumento de 4 millones mientras que el segundo de 6 millones, ambos basándose en la demanda actual de producción de biogás y biometano. Se estima que alrededor de 7 millones de personas solo en África, se dedican desde la cosecha hasta la distribución de biomasa sólida, cifra que es significativa ya que muchos lugares ocupan el carbón o la leña como principal combustible.

En México, la bioenergía tiene un papel importante con un 5.7% en producción de energía (SENER,2019), comparado con un 91.6% de dependencia de los combustibles fósiles como: el gas natural, petróleo y carbón, (SENER,2014). Se puede observar que la dependencia a los combustibles fósiles aún es mucho mayor, situación que se espera vaya mejorando al poder realizar esta transición a energías limpias. Una alternativa es la biomasa que en México depende principalmente de la leña y el bagazo de caña, sin embargo, también existen más fuentes de biocombustibles como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2: Principales Biocombustibles (Bustamante et al.2016)

Bioenergéticos	Sólidos	Líquidos	Gaseosos
<b>1ª Generación</b>	Leña, carbón vegetal, bagazo, pellets	Bioetanol, biodiésel, licor negro	Biogás, gas de síntesis
<b>2ª Generación</b>	Biochar, torrefactos, torpellets	Etanol celulósico, syndiésel, aceite de pirólisis.	Biometano
<b>3ª Generación</b>		Diésel de algas, etanol de algas	Biohidrógeno

Fuente: Bustamante et al. (2016)

Para el 2022 según el Balance Nacional de Energía se generaron 2,141.26 GWh de bioenergía total con una participación de los biocombustibles derivados de: biogás,

relleno sanitario, licor negro, bagazo de caña y biomasa, en la Tabla 3 se observa la evolución de la generación total de energía eléctrica de los años 2018-2022.

Tabla 3: Evolución de la generación total de energía eléctrica 2018-2022 (participación de los biocombustibles en la matriz de generación eléctrica) (gwh) (SENER, 2022)

Tecnología/Fuente de Energía	2018	2019	2020	2021	2022
Bagazo de Caña	1,578.79	1,476.32	1,583.21	1,374.10	1,918.16
Biogás	213.32	241.18	526.68	176.11	192.74
Relleno Sanitario	125.58	110.90	67.40	16.23	
Licor Negro	71.44	38.05	26.41	24.83	23.69
Biomasa	0.04	0.04	2.81	4.32	6.67
Bioenergía Total	1.989.17	1,886.49	2,206.51	1,595.58	2,141.26
<b>TOTAL</b>	313,978.24	321,584.42	317,268.51	328,598.0	340,712.75

Fuente: Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2037

Se estima un potencial técnico de la bioenergía en México equivalente a 3,569 PJ/año, (Johnson et al.2009), tomando en cuenta el tipo de biomasa por su tipo y origen.

Los combustibles de madera son parte importante en el país, ya que la superficie forestal es amplia con un 72% del total del territorio, (Bustamante et al. 2016). El aprovechamiento de este tipo de biomasa podría mejorar al existir un mejor manejo forestal de los bosques nativos, y así dar oportunidad también de aprovechar los residuos que se generan de las plantaciones e industrias forestales. Por otro lado, los residuos agroindustriales tienen un potencial de 1,611 PJ/año, (Martínez,2015). Éstos tienen la ventaja de que se encuentran en el mismo sitio para la producción de alimentos, sin embargo, hay que considerar otro tipo de aspectos como el tipo de suelo hasta la manera en que se debe dar un pretratamiento al material. En cuanto a los subproductos de origen municipal, estos tienen un potencial menor con 35 PJ/año.

## 2. LA LEÑA Y SUS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

La madera es el conjunto de tejidos fibrosculares que dan forma a la estructura de los árboles que no cuentan con hojas o corteza. Se compone principalmente de Celulosa, Lignina y Hemicelulosa (IAWA,1964). Así mismo, dentro de su composición se encuentran los azúcares simples, almidones, pectinas, taninos y extractos solubles orgánicos. (Dermibas, 1991).

Así mismo, se compone de tres partes importantes como lo muestra la Figura 1, que son: la corteza, albura y el duramen. La primera se conoce como la parte exterior de la leña que la protege contra agentes externos al árbol, la albura es la madera más recientemente formada y contiene más humedad, en cambio el duramen es la parte más dura y que contiene extractivos que favorecen su durabilidad. (Monteoliva et al. 2012).



Figura 1: Partes de la madera

### **3. ASPECTOS AMBIENTALES Y TÉCNICOS DE LA LEÑA.**

La leña, es el recurso biomásico más utilizado por las personas, principalmente en entornos rurales, debido a que su uso es económico, es de fácil acceso y se puede almacenar. Solamente en 1990 ya existían más de 200 millones de usuarios (FAO,1990). Debido a la importancia que tiene en el mundo, y que en un futuro no se disminuirá su consumo, es importante analizar los efectos que conlleva su uso.

Principalmente su uso es con fines energéticos y de acuerdo con una cifra obtenida por la FAO en 2008, se produjeron 3900 millones de metros cúbicos, de los cuáles 2300 millones fueron utilizados como combustible. Es utilizada principalmente en los hogares para la cocción de alimentos y calefacción.

Es por su uso en todo el mundo que muchos autores han llegado a pensar que es una causa de la deforestación (Burgos, 2010). Sin embargo, el verdadero disturbio entre la demanda de uso de leña es el modo en que se aprovecha, el cuál generalmente es por medio de fogones que no logran una combustión completa y provocan el consumo desmedido de ésta. También la temporada de frío es un factor que influye en el mayor uso de leña (Masera, 1997). A pesar de que la leña es un biocombustible importante en el mundo, existen muy pocos estudios en los que se mida a leña como un factor económico y de bienestar, aspecto que podría ayudar a reducir la pobreza al tomar en cuenta el aspecto ambiental (De la Torre, 2000).

En México se estima que aproximadamente existen 19 millones de usuarios de leña en áreas rurales y 9 millones de usuarios que la alternan con gas GLP (Masera & Fuentes, 1006). A pesar de ello, no existe mucha investigación sobre los efectos ambientales que esto produce, mientras unos opinan que no tiene relación con la deforestación, otros afirman que si la hay. (Riegelhaupt,1996). El uso desmedido de la leña ha provocado que cada vez los usuarios consigan menos leña en sus hogares, esto debido a que muchas veces el aprovechamiento no es eficiente, ya que las estufas no son adecuadas para ello, provocando así el que se necesite mucha más leña y se agote el recurso (Contreras et al. 2003). Otro riesgo importante en el uso de la leña es la contaminación intramuros, según la OMS (2006), declaró que es un elemento que influye en el desarrollo

de enfermedades respiratorias las cuales son la principal causa de mortalidad a nivel mundial.

En Tabasco, específicamente en los municipios de Comalcalco y Cunduacán, han convertido la mayoría de sus áreas forestales en pastizales para la ganadería. Esta conversión ha orillado a que las personas obtengan leña directamente de los fragmentos de áreas forestales que aún existen en sus territorios o incluso de potreros establecidos (García, 2023).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## CAPITULO 3: METODOLOGÍA

El presente capítulo nos muestra los métodos empleados para llevar a cabo la caracterización de la biomasa (leña), el cual se puede observar de manera sintetizada en la Figura 2 y se detalla a continuación:

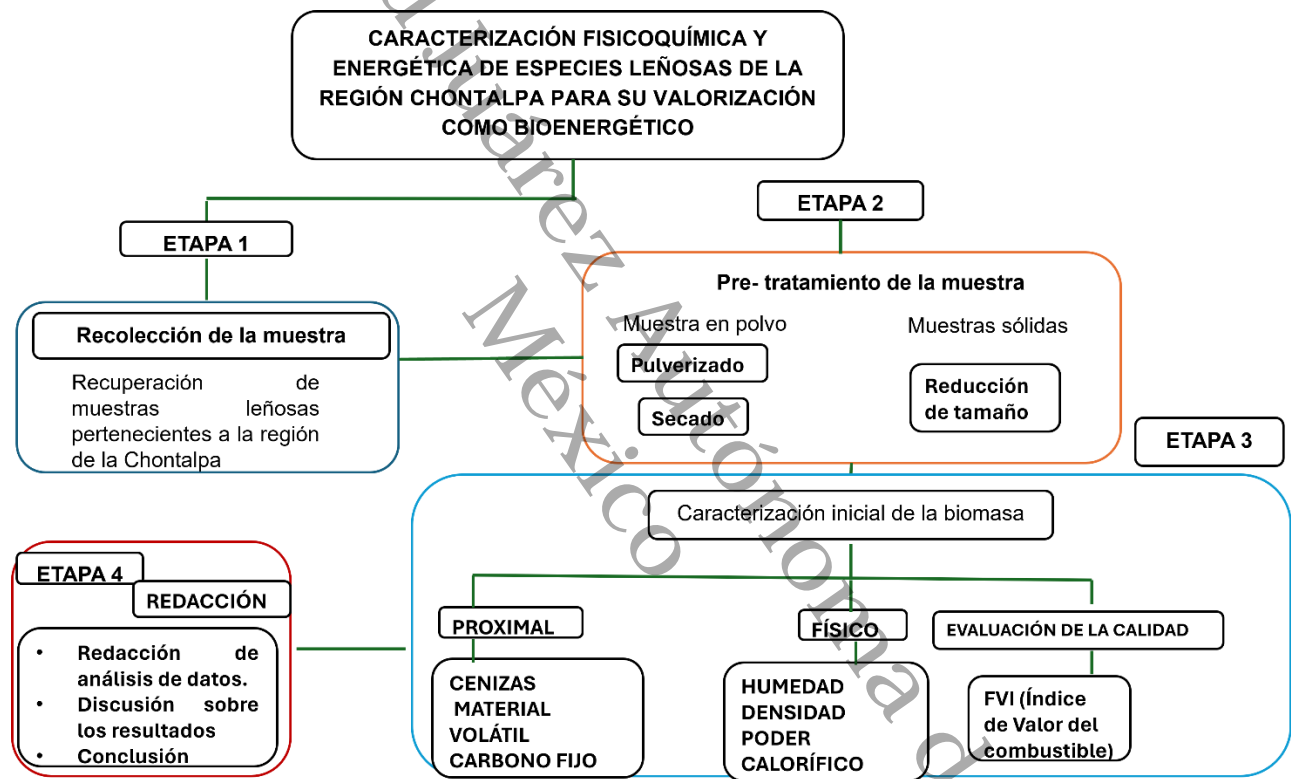


Figura 2: Metodología

## 1. ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras de leña fueron seleccionadas a partir de los usos predominantes de suelo en la zona de La Chontalpa, Tabasco y pertenecen a aquellas especies que se encontraban disponibles en los hogares de las localidades. Durante la toma de muestras se consideró coleccionar ramas gruesas o troncos.

Las localidades donde se llevó a cabo el muestreo son:

- Jalpa de Méndez: R/A Vicente Guerrero.
- Nacajuca: Poblado Guatacalca.
- Comalcalco: R/A Miguel Hidalgo y R/A Zapotal.
- Cunduacán: Poblado Amado Gómez.
- Paraíso: Poblado Nicolás Bravo.

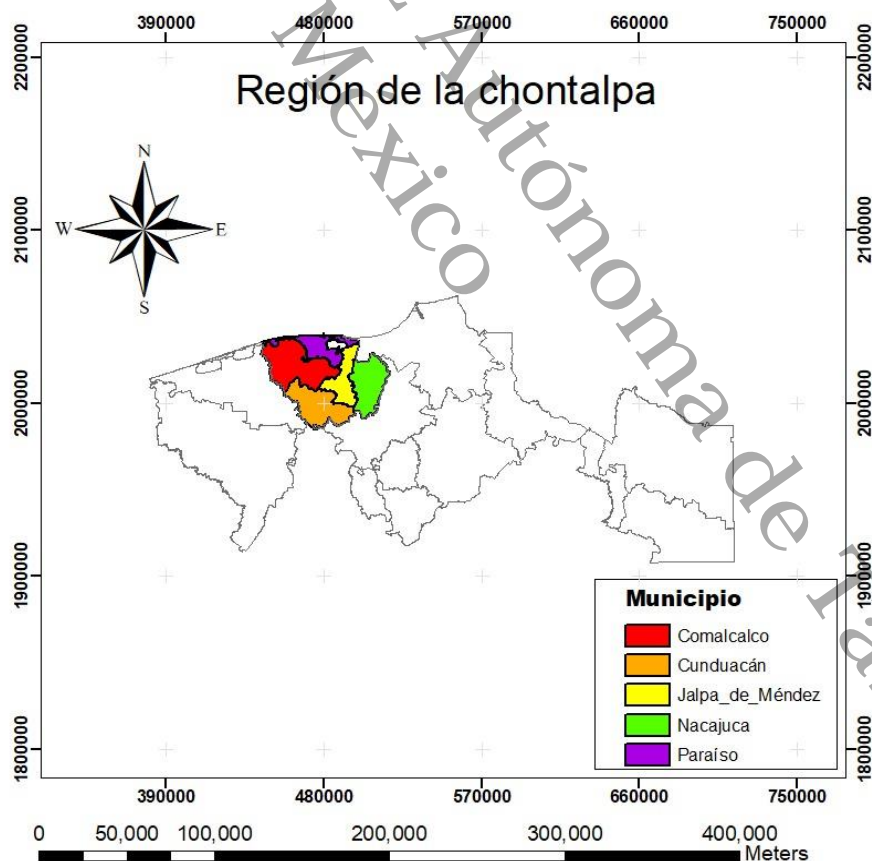


Figura 3: Municipios seleccionados para sitio de muestreo

Tabla 4: Coordenadas geográficas de sitios de muestreo

<b>Coordenadas Geográficas</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>Jalpa de Méndez</b>	R/A Vicente Guerrero	18.082467	-93.069721
<b>Nacajuca</b>	Poblado Guatacalca	18.170336	-92.977451
<b>Comalcalco</b>	R/A Miguel Hidalgo	18.256389	-93.310278
<b>Comalcalco</b>	R/A Zapotal	18.299722	-93.249167
<b>Cunduacán</b>	Poblado Amado Gómez	18.179965	-93-367168
<b>Paraíso</b>	Poblado Nicolás Bravo	18.294167	-93.130000

Fuente: Google Earth

## 2. OBTENCIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL

La biomasa forestal de estudio corresponde a aquellas especies de leña identificadas en “Uso de leña en las zonas de cacao-potrero, cañal-potrero y periurbana en la Chontalpa, Tabasco” y “Especies arbóreas usadas como leña en usos de suelo de potrero, acahual –potrero y zona periurbana en comunidades de La Chontalpa, Tabasco, México” por (Vázquez, 2023) y (García, 2023). Éstas pertenecen a la región de la Chontalpa en aquellas comunidades con zonas de uso predominante de suelo como: Cañal-potrero, cacao-potrero, acahual-potrero y periurbano. La Tabla 5 especifica las especies, nombres científicos y localización, respectivamente.

Tabla 5: Especies leñosas más utilizadas en la zona de la Chontalpa

Tipo de madera	Nombre científico	Comunidad	Localización
Tinto	<i>Haematoxylum campechianum</i> ; L. 1753	Amado Gómez	Cunduacán
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> ; Lam. 1789	Miguel Hidalgo	Comalcalco
Tatúan	<i>Colubrina arborescens</i> ; (Mill.) Sarg. 1913	Miguel Hidalgo	Comalcalco
Cocoite	<i>Gliricidia sepium</i> ; (Jacq.) Kunth ex Walp. 1842	Amado Gómez	Cunduacán
Chipilín	<i>Diphysa americana</i> ; (Mill.) M. Sousa 1990	Amado Gómez	Cunduacán
Macuili	<i>Tabebuia rosea</i> ; (Bertol.) DC. 1845	Amado Gómez	Cunduacán
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L. 1759	Amado Gómez	Cunduacán
Pimienta	<i>Pimenta dioica</i> ; (L.) Merr., 1947	Zapotal	Comalcalco
Tucui	<i>Pithecellobium dulce</i> ; (Roxb.) Benth. 1844	El Chifón	Nacajuca
Cesniche	<i>Lippia myriocephala</i> ; Schldtl. & Cham 1830	Guatacalca	Nacajuca
Mangle Rojo	<i>R. mangle</i> ; L. 1753	Zapotal	Comalcalco
Guayaba	<i>P. guajava</i> ; L., 1753	Zapotal	Comalcalco
Mangle Blanco	<i>Laguncularia racemosa</i> ; (L.) C.F. Gaertn. 1807	Nicolás bravo	Paraíso
Mango	<i>M. indica</i> ; L., 1753, non Blume, 1827 nec Wall., 1847	Zapotal	Comalcalco
Guatope	<i>Inga vera</i> ; Willd 1806	Vicente Guerrero	Jalpa
Sauce	<i>Salix alba</i> ; L. 1753	El chifon	Nacajuca
Mangle Prieto	<i>Avicennia germinans</i> ; (L.) L. 1764	Zapotal	Comalcalco
Palo Blanco	<i>Calycophyllum multiflorum</i> ; Griseb. 1879	Zapotal	Comalcalco

Las muestras recuperadas proceden de hogares en los cuales se utiliza la leña como fuente de energía y se procesaron a un tamaño adecuado para su caracterización; eliminando la corteza en cada muestra y separando el duramen de la corteza. Para lo anterior, se empleó una sierra ajustando el tamaño a 15 cm x 5 cm x 2 cm.

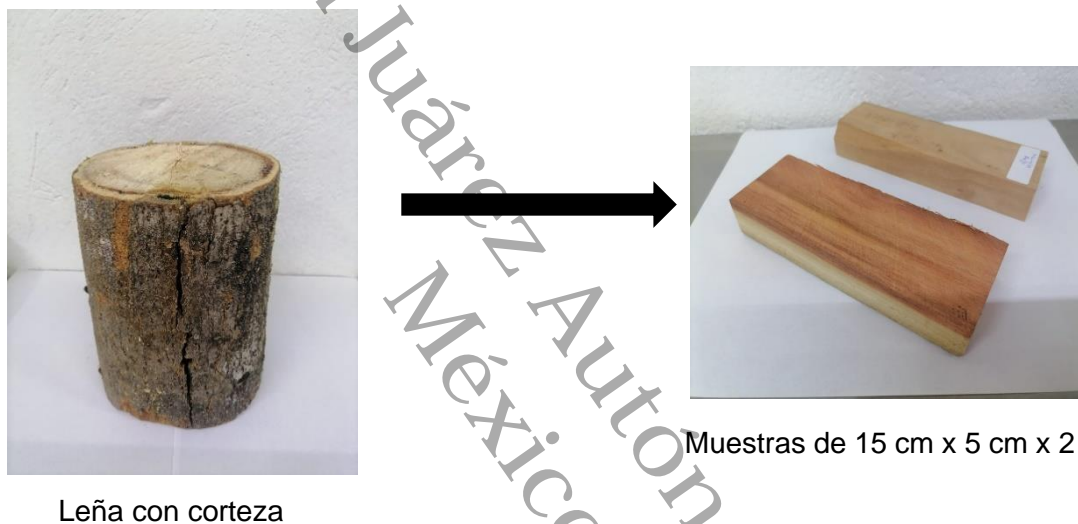


Figura 4: Preparación de muestras

### 3. PRE- TRATAMIENTO DE LA BIOMASA PARA CARACTERIZACIÓN.

#### Preparación muestras en polvo

Cada una de las muestras recuperadas, se llevaron a una lijadora de banda 3 x 21 marca Trupper, para obtener las muestras en polvo, con el fin de obtener biomasa homogenizada representativa de cada una de las partes de las leñas obtenidas. Posteriormente, se secaron en un horno modelo 9053A de la marca Ecoshel a 105°C por 24 horas para acondicionar las muestras. Cada una fue embolsada en bolsas Ziplock y etiquetada con el nombre del sitio correspondiente. (Figura 6).



Muestras de 15 cm x 5 cm x 2 cm

Muestra de leña pulverizada

Figura 6: Preparación de muestras en polvo

### Preparación muestras sólidas.

Para la medición de la densidad otras muestras de las mismas dimensiones de 15 cm x 5 cm x 2 cm, fueron posteriormente reducidas a muestras rectangulares de 5 cm x 2 cm x 2 cm. (Figura 7)



Figura 7: Muestras de 5 cm x 5 cm x 2 cm para determinación de densidad

#### 4. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA.

##### Análisis físicos.

- **Densidad**

La densidad se determinó de acuerdo con la norma ASTM D2395-14 (2015) utilizando una probeta de un volumen de 1000 ml, (Figura 8) las muestras se secaron en horno modelo 9053A de la marca Ecoshel a 105°C por 24 horas para obtener el peso en seco. Posteriormente se sumergieron cubiertos con papel PARAFILM y se observó el volumen de agua desplazado en la probeta. Este procedimiento se realizó por triplicado.

Figura 8: Determinación de densidad



La densidad se obtuvo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

Dónde:

$\rho_0$  = Densidad.

$m_0$  = Masa de la muestra secada al horno.

$V_0$  = Volumen desplazado por la muestra dentro de la probeta.

- **Contenido de humedad.**

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con la norma CEN EN 147741:2009. Este procedimiento se realizó por triplicado, el contenido de humedad de la biomasa se determinó colocando un gramo de la muestra sobre el crisol en un horno de secado a una temperatura de  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 horas, pasado ese tiempo se volvió a pesar y se registró el peso final.

El contenido de humedad se determinó con:

$$\text{CH} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad (%)

$P_i$  = Peso Inicial (g)

$P_f$  = Peso final (g)

### **Análisis Energético**

- **Poder calorífico**

El poder calorífico se determinó en una bomba calorimétrica APEX-4. Para ello, fue necesario utilizar 0.5 g de muestra en polvo, previamente homogenizada que se colocó dentro de una cápsula de metal. El análisis del contenido energético se realizó por triplicado, el cual ocurre a partir de una combustión controlada en una camisa adiabática, adicionando 10 ml de agua desionizada en condiciones de presurización ( $\leq 3 \text{ MPa}$  y atmósfera de oxígeno) y el poder calorífico se determina en unidades de KJ/kg.

Figura 9: Proceso de determinación del poder calorífico



### **Análisis proximales**

Los análisis realizados a las muestras de leña se realizaron en base seca, secándolos en horno modelo 9053A de la marca Ecoshel a 105°C por 24 horas.

- **Material Volátil**

El contenido de material volátil se determinó en base seca de acuerdo con la norma (CEN EN 15148:2009). El primer paso fue colocar los crisoles con un gramo de muestra previamente secada en un horno de secado a una temperatura de  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 horas, para después llevarlos a la mufla a una temperatura de  $900 \pm 10^\circ\text{C}$  durante siete minutos. Se retiraron los crisoles de la mufla y se dejaron enfriar a temperatura ambiente en un desecador para registrar el peso final.

El porcentaje de material volátil de las muestras se determinó llevando a cabo la ecuación:

$$Vd = \left[ \frac{100 (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \right]$$

Dónde:

Vd = Materiales Volátiles (%)

$m_1$  = Masa del crisol vacío (g)

$m_2$  = Masa del crisol y muestra antes del calentamiento (g)

$m_3$  = Masa del crisol y muestra después del calentamiento (g)

- **Contenido de cenizas**

El contenido de cenizas se determinó de acuerdo con la norma (CEN/TS 14775:2004). Se colocaron los crisoles con la muestra y se introdujeron en la mufla a una temperatura

de 250°C durante 30 minutos para llegar a la estabilización, pasado ese tiempo se añaden otros 60 minutos. Posteriormente se eleva la temperatura a 550°C por 120 minutos, se retiraron y se dejaron enfriar en el desecador para registrar el peso final.

El contenido de cenizas se determinó con base a la siguiente ecuación:

$$Ad = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Dónde:

Ad = Contenido de cenizas (%)

m<sub>1</sub> = Masa del crisol vacío (g)

m<sub>2</sub> = Masa del crisol y muestra (g)

m<sub>3</sub> = Masa del crisol y la ceniza (g)

- **Carbono Fijo**

Para determinar el carbono fijo se determinó de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM – D 1762. En donde se establece la siguiente ecuación:

$$CF = 100 - (MV + CC)$$

Dónde:

CF=Carbono Fijo (%)

CH=Contenido de Humedad (%)

MV=Material volátil (%)

CC= Contenido de Cenizas (%)

### **Índice de calidad de especies leñosas**

Con el propósito de comparar las propiedades proximales y energéticas de las especies leñosas se calculó el Índice del Valor del Combustible (FVI O Fuel Value Index). El FVI es un índice de calidad de la biomasa que permite realizar comparaciones entre diversos

biocombustibles sólidos, uno de ellos es la leña. El FVI o El Índice de Valor de Combustible (FVI), se calculó con la siguiente ecuación, (Bhatt et al. 2002):

$$FVI = \frac{\text{Valor Calorífico} \left( \frac{MJ}{kg} \right) \times \text{Densidad} \frac{g}{cm^3}}{\text{Contenido de cenizas} \left( \frac{g}{g} \right) \times \text{Contenido de Humedad} \left( \frac{g}{g} \right)}$$

México

Autónoma de Tabasco.

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestra el análisis de los resultados de la caracterización de las diversas especies leñosas en la región Chontalpa. La tabla 6 muestra el contenido de humedad, densidad, porcentaje de materia volátil, porcentaje de carbono fijo, contenido de cenizas, poder calorífico y valor de FVI, respectivamente.

### PARÁMETROS FÍSICOS DE LA BIOMASA

Las propiedades físicas de las especies leñosas mostradas en la Tabla 6 se discuten a continuación.

#### Humedad.

La humedad es el parámetro que mide la cantidad de agua contenida en una muestra de biomasa, depende principalmente de varios factores como: la ubicación, la recolección, el tipo y lugar de almacenamiento (FAO,2004). Los porcentajes de humedad obtenidos varían de 3.65% a 1.3% para las especies *P. guajava* y *Cedrela odorata*, respectivamente. Estos porcentajes se calcularon en base seca, sin embargo, la humedad deseable para la combustión se encuentra debajo del 20% de acuerdo con Yang et al. (2005). Esta propiedad influye directamente con el poder calorífico ya que cuando la leña contiene altos contenidos de humedad, la energía que se necesita para combustionar se agota antes para eliminar ese exceso de agua. También a mayor contenido de esta propiedad, se genera mayor cantidad de humo. Es importante destacar que *R. mangle* y *Avicennia germinans* son especies que obtuvieron un mayor contenido de humedad con: 2.60% y 3.18% y a su vez bajos contenidos de poder calorífico con: 15.63 MJ/kg y 15.01 KJ/kg.

#### Densidad aparente

La densidad aparente es la relación que existe entre la materia seca y el volumen aparente de la madera (FAO,2004). Así mismo Salvador (2016), denota que, a mayor densidad aparente, la superficie de sus elementos resistentes es más grande y de menor superficie el de sus poros.

Los resultados de densidad en las especies analizadas se pueden clasificar en grupos de acuerdo con Bruzos (2009), en donde se considera los rangos obtenidos entre

especies pesadas a ligeras. En la clasificación de ligeras ( $<0.5 \text{ g/cm}^3$ ), encontramos a *Lippia myriocephala*, *Calycophyllum multiflorum*, *Guazuma ulmifolia*, *Inga vera*, *Tabebuia rosea*, *Salix alba*, *Cedrela odorata* y *M. indica*. Con los siguientes valores:  $0.28 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.29 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.3 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.35 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.36 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.39 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.42 \text{ g/cm}^3$  y  $0.45 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Seguidas por las medianamente pesadas ( $0.5$  y  $0.8 \text{ g/cm}^3$ ), en donde se encuentran: *Pithecellobium dulce*, *P. guajava*, *Haematoxylum campechianum*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Diphysa americana*, *Gliricidia sepium* y *Colubrina arborescens*. Con los valores siguientes:  $0.53 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.56 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.57 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.61 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.64 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.72 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.77 \text{ g/cm}^3$  y  $0.78 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Finalmente, en pesadas ( $0.8$  y  $1 \text{ g/cm}^3$ ), tenemos a *Pimenta dioica* y *R. mangle* con  $0.83 \text{ g/cm}^3$  y  $0.85 \text{ g/cm}^3$ .

Sin embargo, las especies con mayor densidad no coinciden con contenidos energéticos altos como bien han relacionado estas propiedades diversos autores entre ellos Kumar et al. (2010) que observaron que a mayor densidad existe un mayor poder calorífico, debido a mayor unidad de volumen. Como el caso de *R. mangle*, el cual tiene un valor alto de densidad, pero es de los más bajos en poder calorífico. Contrario a lo anterior, otro estudio de especies leñosas en Uganda elaborado por Ojelel et al. (2015), explican que dado por los altos contenidos de extractivos y ligninas en la madera se puede obtener un poder calorífico mayor, a pesar de la baja densidad.

Así mismo, Escobar et al, (2009) determinaron a través de la aplicación de encuestas en una comunidad zoque del centro de Chiapas, México, algunas especies leñosas consideradas “macizas”. Esta característica es reconocida por generar altas brasas y mucho calor. Las especies más densas son preferidas para el uso doméstico. De igual manera, Quiroz et al. 2009, reportan que en localidades de Yucatán existen maderas catalogadas como “duras”, tales como el *chukum* (*Havardia albicans*) la cual genera brasas y su combustión es lenta.

Tabla 6: Propiedades físicas, proximales y energéticas de 18 especies leñosas de la región Chontalpa de Tabasco

Leña (Nombre común)	Especie Leñosa (Nombre científico)	Humedad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Volátiles (%)*	Carbono Fijo (%)	Cenizas (%)*	Poder calorífico superior (MJ/kg)	FVI
Tinto	<i>Haematoxylum campechianum</i> ; L. 1753	1.75±0.03	0.57±0.03	98.53±0.01	3.02± 0.07	1.55±0.07	16.66±0.26	35.02 ±3.20
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> ; Lam. 1789	2.13±0.11	0.3± 0.00	98.70±0.10	2.70± 0.15	1.40±0.20	16.40±0.19	17.18± 2.48
Tatúan	<i>Colubrina arborescens</i> ; (Mill.) Sarg. 1913	2.19±0.02	0.78±0.03	98.02±0.14	4.59± 0.06	2.61±0.08	16.64±0.27	22.76± 0.68
Cocoite	<i>Gliricidia sepium</i> ; (Jacq.) Kunth ex Walp. 1842	1.89±0.16	0.77±0.04	99.26±0.26	2.13± 0.21	1.39±0.05	17.77±0.45	51.89 ±1.62
Chipilín	<i>Diphysa americana</i> ; (Mill.) M.Sousa 1990	1.56±0.21	0.72±0.01	99.46±0.15	1.26± 0.23	0.71±0.07	16.65±0.97	110.28± 21.32
Macuili	<i>Tabebuia rosea</i> ; (Bertol.) DC. 1845	2.17±0.28	0.36±0.01	99.54±0.18	1.03± 0.11	0.56±0.07	16.72±0.22	50.97± 12.94
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L. 1759	1.30±0.23	0.42± 0.02	99.03±0.11	2.19 ±0.03	1.22±0.12	17.27±0.19	47.10± 10.95
Pimienta	<i>Pimenta dioica</i> ; (L.) Merr., 1947	2.29±0.19	0.83±0.02	99.17±0.33	1.67± 0.32	0.84±0.05	17.02±0.15	74.16± 8.86
Tucui	<i>Pithecellobium dulce</i> ; (Roxb.) Benth. 1844	2.32±0.07	0.53±0.01	98.46±0.25	3.75 ±0.37	2.21±0.15	16.50±0.17	17.14± 0.81

<b>Cesniche</b>	<i>Lippia myriocephala</i> ; Schldt. & Cham 1830	1.53±0.48	0.28±0.01	99.19±0.05	1.84± 0.02	1.03±0.05	17.19±0.41	34.04± 14.41
<b>Mangle Rojo</b>	<i>R. mangle</i> ; L. 1753	2.60±0.18	0.85±0.01	98.65±0.09	3.25 ±0.23	1.90±0.14	15.63±0.15	26.99± 3.44
<b>Guayaba</b>	<i>P. guajava</i> ; L., 1753	3.65±0.13	0.56±0.06	98.41±0.11	3.41± 0.15	1.81±0.08	17.10±0.13	14.44 ±2.10
<b>Mangle Blanco</b>	<i>Laguncularia racemosa</i> ; (L.) C.F. Gaertn. 1807	2.17±0.09	0.61±0.01	98.96±0.10	2.13± 0.37	1.08±0.26	15.92±0.21	43.27± 11.0
<b>Mango</b>	<i>M. indica</i> ; L., 1753, non Blume, 1827 nec Wall., 1847	1.32±0.17	0.45±0.01	97.23±0.25	3.84± 0.17	1.08±0.26	16.65±0.36	55.45 ±16.53
<b>Guatope</b>	<i>Inga vera</i> ; Willd 1806	1.76±0.21	0.35±0.09	98.71±0.05	2.99 ±0.14	1.71±0.20	16.96±0.30	20.70 ±8.81
<b>Sauce</b>	<i>Salix alba</i> ; L. 1753	2.04±0.11	0.39±0.01	97.21±0.37	4.14± 0.42	1.35±0.09	16.89±0.31	23.79 ±2.20
<b>Mangle Prieto</b>	<i>Avicennia germinans</i> ; (L.) L. 1764	3.18±0.90	0.64±0.03	98.71±0.05	6.14 ±0.05	4.85±0.09	15.01±0.22	6.52 ±1.45
<b>Palo Blanco</b>	<i>Calycophyllum multiflorum</i> ; Griseb. 1879	1.78±0.25	0.29±0.05	98.16±0.54	4.63± 0.48	2.79±0.10	16.59±0.24	9.65± 1.49

\*muestra base seca

■ Valores que confieren calidad de acuerdo con la Tabla 7.

## ANÁLISIS PROXIMAL

### Material Volátil

El contenido de materia volátil se refiere a la parte gaseosa y a los vapores condensables que son liberados al combustionar cualquier tipo de biomasa (Basu,2018). Además, se reconoce que a mayor contenido de material volátil hay una mejor ignición y estabilidad de llama, favoreciendo el poder calorífico y a un mejor rendimiento al combustionar. (Carpenter, 2019) y (Sulaiman et al. 2014).

En este estudio los porcentajes de materia volátil oscilan entre 99.54% y 97.21% para *Tabebuia rosea* y *Salix alba* las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente.

### Carbono Fijo

El carbono fijo representa la parte remanente sólida al combustionar los componentes volátiles, (Ruiz et al. 2019). Este carbono fijo suele expresarse en términos porcentuales y es “deseable”. Las muestras de leña estudiadas obtuvieron porcentajes que van desde 1.03% a 6.14% siendo *Tabebuia rosea* y *Avicennia germinans*, las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente.

### Contenido de Cenizas

Un parámetro indeseable en la biomasa que se quiere aprovechar desde el punto de vista energético es el contenido de ceniza. Al combustionarse la leña suele generarse un material con características inorgánicas que no permite llevar a cabo una combustión completa. El contenido de cenizas que genera una leña suele influir en el poder calorífico, es por ello por lo que los valores deseados son menores al 1%. (FAO,2004). Por su parte, Yescas (2016) mediante aplicación de entrevistas aplicadas a una comunidad en un municipio de Tepalcingo, Morelos, determinó que se prefieren las especies con menor cantidad de ceniza, ya que se traduce a menor cantidad de humo.

Al respecto, en esta investigación los valores de cenizas menores al 1% encontrados fueron para: (nombre común) *Tabebuia rosea*, *Diphysa americana* y

*Pimenta dioica* con los siguientes valores: 0.56 %, 0.71 % y 0.84 % respectivamente. Contrario a esta característica las especies con contenidos mayores al 1% de cenizas y menores al 2% fueron: *Lippia myriocephala*, *M. indica*, *Laguncularia racemosa*, *Cedrela odorata*, *Salix alba*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Haematoxylum campechianum*, *Inga vera*, *P. guajava* y *R. mangle* con los siguientes porcentajes: 1.03%, 1.08%, 1.08%, 1.22%, 1.35%, 1.39%, 1.40%, 1.55%, 1.71%, 1.81% y 1.90%, respectivamente. Finalmente, los valores más alto en el contenido de ceniza (>2%) lo presentaron las siguientes especies: *Pithecellobium dulce*, *Colubrina arborescens*, *Calycophyllum multiflorum*, con 2.21%, 2.61%, 2.79% y *Avicennia germinans* con el valor más alto de 4.85%. *Avicennia germinans*.

## PROPIEDADES ENERGÉTICAS

### Poder Calorífico

El contenido calorífico nos indica la cantidad de calor que se desprenderá al combustionar la biomasa (Kataki et al. 2002). En este caso el poder calorífico superior es el que se determina a través de una bomba colorimétrica, este se refiere al calor de combustión cuando el agua ha pasado de fase líquida a vapor, así mismo refiere el total de energía cuando una unidad de masa se quema completamente (Haugen et al, 2016).

En este sentido, los valores más altos de poder calorífico lo obtuvieron las especies: *Gliricidia sepium*, *Cedrela odorata* y *Lippia myriocephala* con 17.77 MJ/kg, 17.27 MJ/kg y 17.19 MJ/kg respectivamente. Dichos valores son consistentes con los reportados por Vázquez (2023) y García (2023) quienes llevaron a cabo un estudio sobre disponibilidad y uso de la leña en algunas comunidades de la Chontalpa.

Algo que resalta de estos resultados es que estas especies encontradas con el mayor poder calorífico coinciden con las de mayor preferencia en las comunidades. Sin embargo, existen otras especies como cesniche (*Lippia myriocephala*), guayaba (*P. guajava*), guatope (*Inga vera*) y sauce (*Salix alba*) que podrían ser aprovechadas al contener un poder calorífico significativo comparable con las especies más

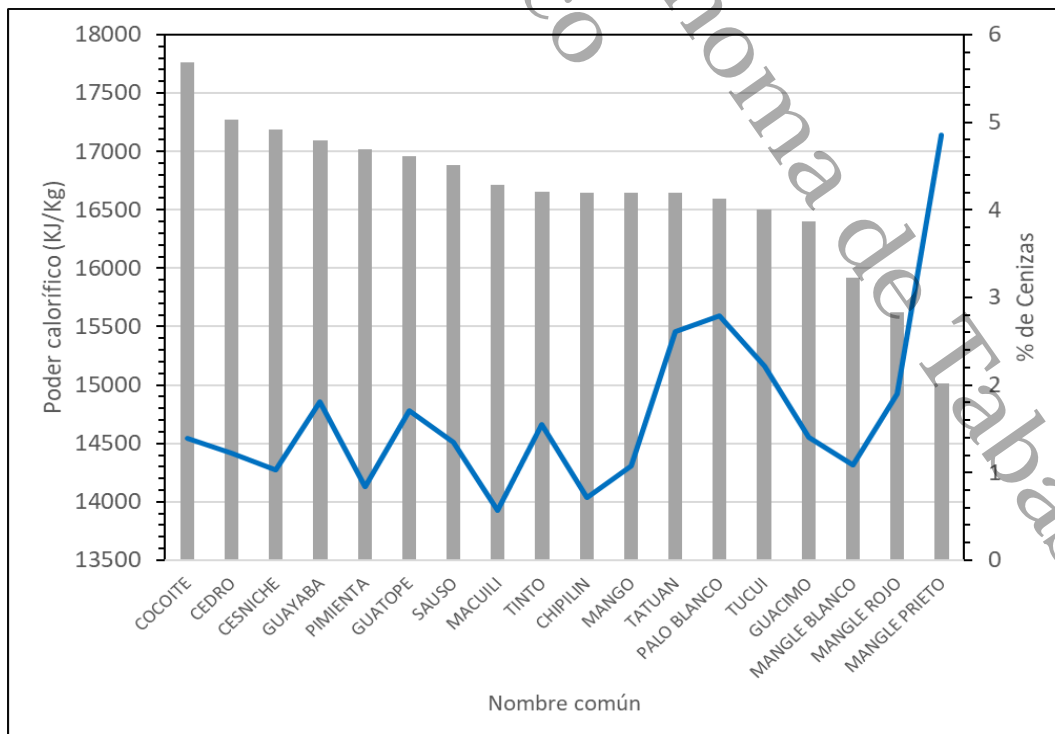
utilizadas. Un factor limitante de este aprovechamiento es la cercanía o disponibilidad del recurso.

Los resultados anteriores coinciden con las especies analizadas con mayor poder calorífico las cuales se encuentran como las más utilizadas en las comunidades afirmando que “entre las especies de leña más preferidas en la región, hay especies de alta calidad”. (Vázquez,2013) y (García,2023).

La Figura 10 presenta la relación que tiene la cantidad de cenizas respecto al poder calorífico. Se observa que, a mayor cantidad de cenizas, menor poder calorífico y viceversa.

Esto debido a que las cenizas son aquella parte mineral que no se combustiona y al haber gran cantidad de ellas pueden formar escorias que impiden la distribución adecuada del aire y en consecuencia reducir la eficiencia de combustión (Patel et al. 2012). Además, Jenkins et al. (2001) afirma que por cada 1% de aumento en el porcentaje de cenizas, el poder calorífico disminuye 20 MJ/kg debido a que las cenizas no contribuyen al calor total liberado por la combustión.

Figura 10: Relación entre poder calorífico y contenido de cenizas



## ÍNDICE DE CALIDAD DE ESPECIES LEÑOSAS

### FVI Índice del valor del combustible

Como puede observarse en la tabla 6, de acuerdo con la tabla 7 de atributos, muchos de los valores se encuentran dentro de los rangos ideales para considerar una leña de calidad (marcados de color verde), por ello es importante el siguiente índice de calidad de especies para diferenciar aquellas que en verdad tienen una mejor calidad para su uso como biocombustible.

El FVI, se reconoce como una variable importante para clasificar la aptitud del combustible de las biomásas leñosas, y evalúa su calidad. (Kataki & Conwer, 2002). Las variables medidas como porcentaje de humedad, densidad y porcentaje de cenizas tienen un efecto importante en el poder calorífico de las especies analizadas, sin embargo, el FVI es un parámetro que nos permite integrar todas estas propiedades y observar un parámetro de calidad integral.

El valor más alto encontrado en las especies leñosas estudiadas fue de *Diphysa americana* con 110.28 y el menor de *Avicennia germinans* con 6.52, como se muestra en la Figura 11, respectivamente. Algunas de las especies leñosas más utilizadas en la zona de la Chontalpa concuerdan con aquellas especies con mayor contenido de FVI, las cuáles son: *Diphysa americana*, *Tabebuia rosea* y *Gliricidia sepium*. (Vázquez, 2023) y (García, 2023). Sin embargo, existen otras especies con un alto porcentaje de FVI que no son tan usadas o preferidas como lo es *Lippia myriocephala* y que podría ser opción para no sobreexplotar las que se usan mayormente, inclusive dejar de ocupar especies que se encuentran protegidas como lo es *Laguncularia racemosa* y *R. mangle*.

Además de los atributos cuantitativos que definen una leña de calidad, se cuenta con atributos cualitativos que se les otorga por medio de características que les confieren los usuarios como se puede observar en la Tabla 7:

Figura 11: FVI índice del valor del combustible

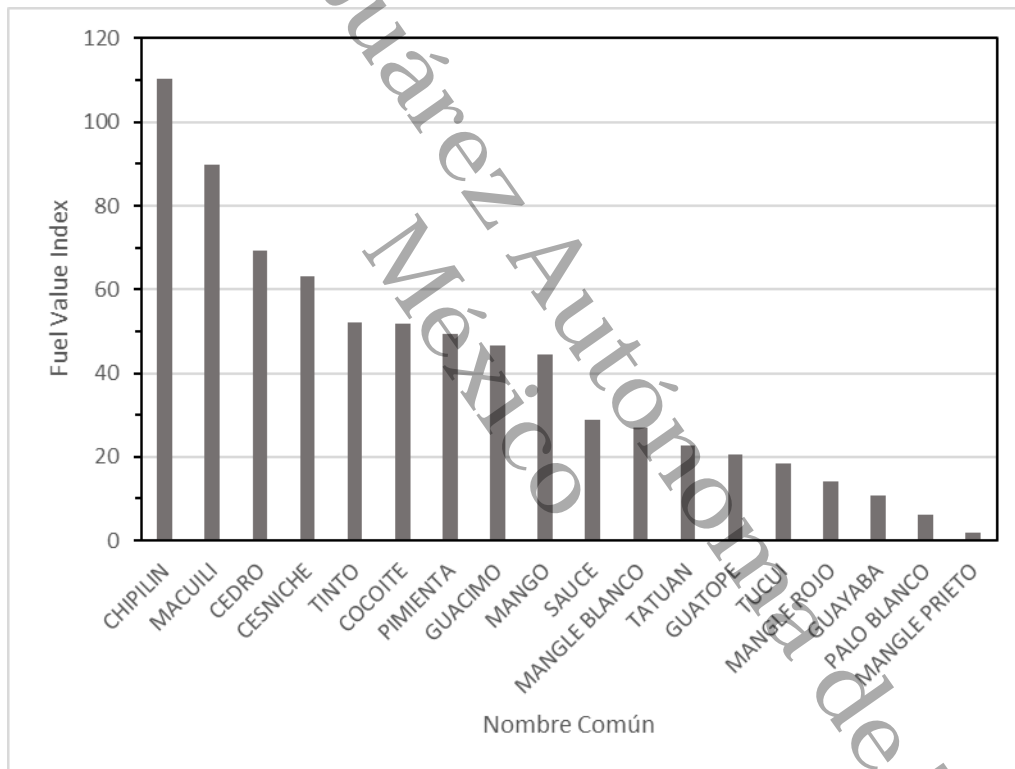


Tabla 7: Propiedades deseables de la leña para ser considerada de calidad.

CUANTITATIVAS	CUALITATIVAS	PARÁMETRO DESEABLE (calidad)
<p><b>DENSIDAD:</b> (Bruzos, 2009): Muy pesadas: &gt; 1 kg/dm<sup>3</sup> Pesadas: 0.8 y 1 kg/dm<sup>3</sup> Medianamente pesadas: 0.5 y 0.8 kg/dm<sup>3</sup> Ligeras: &lt;0.5 kg/dm<sup>3</sup></p>	<p>(Escobar et al, 2009) determinó aplicando encuestas en una comunidad zoque del centro de Chiapas, México. Que, para uso doméstico, las personas preferían: "Las especies macizas, que hacen brasa y que producen bastante calor". Se prefieren las especies con una alta densidad porque estas especies mantienen las brasas por un período más largo (Rodríguez et al. 2019).</p>	<p>Densidad &gt; 1 kg/dm<sup>3</sup></p>
<p><b>Cenizas:</b> (FAO,2004): El contenido de cenizas influye en el poder calorífico, es por ello por lo que los valores oscilan entre el 1% en leña, lo cual es deseable.</p>	<p><b>Cenizas:</b> (Yescas, 2016) mediante aplicación de entrevistas aplicadas a una comunidad en un municipio de Tepalcingo, Morelos. Se determinó que se prefieren las especies con menor cantidad de ceniza, ya que se traduce a menor cantidad de humo.</p>	<p>Cenizas &lt; 1%</p>
<p><b>Humedad:</b> La humedad deseable para la combustión se encuentra debajo del 20% de acuerdo con Yang et al. (2005).</p>	<p>Es reconocida empíricamente como maderas que son pesadas y secas por lo cual producen menos humo y mayor calor, (Márquez,2016).</p>	<p>Humedad &lt; 20%</p>
<p><b>Poder calorífico:</b> (Drake et al., 2002). La leña seca posee un poder calorífico inferior de hasta 4,400 kcal/kg<sup>3</sup>, valor que es altamente dependiente de la humedad de la madera.</p>	<p>(Yescas, 2016): Dependiendo lo que se cocine en el fogón, se prefieren leñas que sean de fuego lento o fuego que se apague rápido.</p>	<p>Poder Calorífico &gt; 18.4096 MJ/kg</p>
<p><b>Volátiles:</b> Alrededor del 85% de material volátil puede contener la leña.</p>	<p>Varios investigadores relacionan un alto porcentaje de material volátil con mayor calor durante la combustión. (Wang et al. 1989)</p>	<p>Volátiles &gt; 85%</p>

## CONCLUSIONES

La investigación desarrollada permitió identificar y caracterizar 18 diferentes especies leñosas en la región Chontalpa de Tabasco, que describe sus principales propiedades para ser considerada como un biocombustible.

Las leñas que obtuvieron las mejores propiedades para ser utilizadas como un bioenergético y que se consideran de mejor calidad fueron: Chipilin (*Diphysa americana*) con un poder calorífico de 16.65 MJ/kg y un valor de FVI de 110.28, Macuili (*Tabebuia rosea*) con un poder calorífico de 16.72 MJ/kg y un valor de FVI de 50.97, Cedro (*Cedrela odorata*) con un poder calorífico de 17.27 MJ/kg y un valor de FVI de 47.10, Cesniche (*Lippia myrioccephala*) con un poder calorífico de 17.19 MJ/kg y un valor de FVI de 34.04 y Tinto (*Lippia myrioccephala*) con un poder calorífico de 16.66 MJ/kg y un valor de FVI de 35.02. A partir del cálculo del FVI, es importante destacar que existe un conocimiento tradicional hacia la preferencia de determinadas especies leñosas y a partir de la determinación del FVI pudo observarse una concordancia entre el mejor FVI de una de las especies más preferidas en la Chontalpa como lo es el Chipilín. Por otra parte, especies como son: Tinto, Cocoite, Pimienta, mostraron valores muy cercanos de FVI de manera particular Chipilín, Cocoite y Pimienta, son especies altamente predominantes en zonas de uso de suelo como son: cacaotal-potrero, por tanto, en este tipo de zonas existen especies con un potencial energético atractivo.

Finalmente, el FVI mostró que existen especies alternativas a las comúnmente preferidas, como lo son: Macuili, Cedro y Cesniche, cuyos valores fueron superiores a las especies anteriormente mencionadas. Lo anterior sugiere el potencial de uso de estas especies, lo cual puede contribuir a ampliar las especies alternativas para uso como combustible.

Es importante mencionar que la relación de estos parámetros con otras consideraciones culturales y económicas, son claves para la toma de decisiones respecto a su utilización. No obstante, la información generada es base para la toma de decisiones.

Como parte de la incidencia de esta investigación se contribuye a un mayor entendimiento sobre su aprovechamiento energético y se centran las bases para promover políticas públicas para su reforestación o aprovechamiento sustentable.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## PERSPECTIVA

En el Laboratorio de Bioenergía y Sustentabilidad esta investigación ha permitido la integración de una colección de diferentes especies leñosas para fines energéticos a la cual hemos denominado “Xiloteca de especies de la región Chontalpa de Tabasco” que espera sea útil para aumentar el conocimiento sobre las principales especies de la zona.

Esta información también ha servido para ser expuesta en el Museo de Casa Universitaria Cacao y Chocolate, como parte de las colecciones temporales dentro del mismo espacio cultural.

Se espera que esta investigación se pueda profundizar a través de estudios analíticos especializados como Termografía, Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis elemental, así como el análisis estructural de los mismos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México

## REFERENCIAS CITADAS

- Alvarado-Machuca, S. V., Álvarez-Sánchez, E., Maldonado-Torres, R., & Sánchez-Velez, A. S. (2018). Consumo de leña en México: hábitos de uso, problemática asociada y alternativas sostenibles de solución. *Álvarez-Sánchez ME, Vázquez-Alarcón A, coords. Agroforestería para conservación de los recursos naturales y productividad. México: Universidad Autónoma Chapingo.* <https://doi.org/10.17129/botsci.3147>
- ASTM D2395-14, Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials: ASTM International:United States, 2015.
- Bhatt, B.P.; Tomar, J.M.S.; Bujarbaruah, K.M. Characteristics of some firewood trees and shrubs of the Northeastern Himalayan region, India. *Renew. Energy* 2004, 29, 1401–1405.
- “Biomass Feedstocks,” in *Biofuels: Securing the Planet’s Future Energy Needs*, London: Springer London, 2009, pp. 45–85.
- Bruzos, T. 2009. Propiedades físicas de la madera. *Maderas: Ciencia y tecnología*. Universidad del Bio, Chile. 11(1):3-18.
- Cardoso, M. B., Ladio, A. H., Dutrus, S. M., & Lozada, M. (2015). Preference and calorific value of fuelwood species in rural populations in northwestern Patagonia. *Biomass and Bioenergy*, 81, 514-520. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.003>
- Carpenter, *Switching to Cheaper Coals for Power Generation*, IEA Clean coal centre, 1998, ISBN 92-9029-301-2. August 15th 2019, <https://www.iea-coal.org/switching-to-cheaper-coals-for-power-generation-ccc-01/>.
- CEN EN 14775:2009, Solid biofuels - Determination of ash content; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2009.
- CEN EN 14774-1:200, Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method: European Committee for Standardization: Brussels Belgium, 2009.
- CEN EN 15148:2009, Solid biofuels. Determination of the content of volatile matter: European Committee for Standardization: Brussels Belgium, 2009.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, (83).

- De Jong, W. (2014). Biomass composition, properties, and characterization. *Biomass as a sustainable energy source for the future: Fundamentals of conversion processes*, 36-68.
- De Lucas Herguedas, A. I., del Peso Taranco, C., Rodríguez García, E., & Prieto Paniagua, P. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
- Desta, H. M., & Ambaye, C. S. (2020). Determination of energy properties of fuelwood from five selected tree species in tropical highlands of southeast Ethiopia. *Journal of Energy*, 2020, 1-7.
- Escobar, M. C., Niños, J. A., Ramírez, N. & Yésopo, C. (2009) Diagnóstico participativo del uso, demanda y abastecimiento de leña en una comunidad zoque del centro de Chiapas, México. *Ra Ximhai* 5(2) p 201-223.
- F. Sulaiman, N. Abdullah, Pyrolytic product of washed and unwashed oil palm wastes by slow thermal conversion process, *J. Phys. Sci.* 25 (2) (2014) 73–84.
- FAO. 2004. TERMINOLOGÍA UNIFICADA SOBRA LA BIOENERGÍA TUB <https://www.fao.org/3/j6439s/j6439s00.htm>
- Fernández, J. (2003). Energía de la biomasa. *Energías renovables para el desarrollo*. Thomson-Paraninfo, 2-20.
- Filipe dos Santos Viana, H., Martins Rodrigues, A., Godina, R., Carlos de Oliveira Matias, J., & Jorge Ribeiro Nunes, L. (2018). Evaluation of the physical, chemical and thermal properties of Portuguese maritime pine biomass. *Sustainability*, 10(8), 2877.
- Foley, G. (s. f.). Aspectos económicos de los productos sustitutos de la leña. *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*. <https://www.fao.org/3/r6560S/r6560s03.htm#TopOfPage>
- Haugen, Hildegunn & Furuvik, Nora & Moldestad, Britt. (2016). Characterization of biomass wood. 257-269. 10.2495/EQ160241.
- IAWA. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature International Association of Wood Anatomists. 186 p.

- Kataki, R., & Konwer, D. (2002). *Fuelwood characteristics of indigenous tree species of north-east India*. *Biomass and Bioenergy*, 22(6), 433–437. doi:10.1016/s0961-9534(02)00026-0
- Kumar R, Pandey KK, Chandrashekar N, Mohan S, 2010. Efecto de la edad del árbol sobre el valor calorífico y otras propiedades del combustible del híbrido Eucalyptus. *J Para Res* 21(4): 514516. [https://doi.org/10.1007/s11676\\_0100108\\_x](https://doi.org/10.1007/s11676_0100108_x).
- Masera Cerutti, O. (2015). MENOR, EL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR EL CONSUMO DE LEÑA. *Boletín UNAM*. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015\\_152.html](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_152.html)
- Masera, O. y A. F. Fuentes G. 2006. Introducción. In: La Bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable. Omar Masera Cerutti (Coordinador). Comisión Nacional Forestal. Mundi-Prensa, México. p. 1-6.
- May-Tobin, C. (2011). Wood for fuel. *The root of the problem: what's driving tropical deforestation today*, 79-87.
- Meana, S. (2015). *Cae 5% consumo de gas LP en México mientras aumenta el de leña*. *El Financiero*; *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/cae-consumo-de-gas-lp-en-mexico-mientras-aumenta-el-de-lena/>
- Monteoliva, S., Ciganda, V., & Igartúa, D. V. (2012). Contenido de duramen y de albura en Eucalyptus globulus y Acacia melanoxylon implantadas en Argentina. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 14(1), 53-63.
- Ojelel, S., Otiti, T. & Mugisha, S. Fuel value indices of selected woodfuel species used in Masindi and Nebbi districts of Uganda. *Energ Sustain Soc* 5, 14 (2015). <https://doi.org/10.1186/s13705-015-0043-y>
- Patel, B., & Gami, B. (2012). Biomass characterization and its use as solid fuel for combustion. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(2).
- Quiroz-Carranza, J., & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 47-67. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n2/v16n2a4.pdf>

- Rodríguez-Jimenez, S., Duarte-Aranda, S., & Canche-Escamilla, G. (2019). Chemical composition and thermal properties of tropical wood from the Yucatán dry forests. *BioResources*, 14(2), 2651-2666.
- Ruiz-Aquino F, Ruiz-Ángel S, Santiago-García W, Fuente-Carrasco ME, Sotomayor-Castellanos JR, Carrillo-Parra A, 2019. Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in Mexico. *Wood Res-Slovakia* 64(1): 71-82.
- Ruiz-Aquino, F., Jiménez-Mendoza, M. E., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., Aquino-Vásquez, C., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2022). Energy Properties of 22 Timber Species from Oaxaca, Mexico. *South-east European forestry: SEEFOR*, 13(2), 107-113.
- Salvador Cardenas, M. I. (2016). Densidad aparente y contenido de humedad de la madera aserrada de quince especies forestales en el costo de transporte terrestre de Pucallpa a Lima.
- Smith, K. (s. f.). El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud. *Unasyuva*. <https://www.fao.org/3/a0789s/a0789s09.htm>
- Velázquez Martí, B. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Velázquez Martí, B.; Sajdak, M.; López Cortés, I.; Callejón-Ferre, AJ. (2014). Wood characterization for energy application proceeding from pruning *Morus alba* L., *Platanus hispanica* Münchh. and *Sophora japonica* L. in urban areas. *Renewable Energy*. (62):478-483. doi:10.1016/j.renene.2013.08.010
- Wang S, HuOman JB, Rockwood DL. Quantitative evaluation of fuelwood in Florida—a summary report. *Economic Botany* 1989;36(4):381–8.
- Yao Bin Yang, Changkook Ryu, Adela Khor, Nicola E. Yates, Vida N. Sharifi, Jim Swithenbank, Effect of fuel properties on biomass combustion. Part II. Modelling approach—identification of the controlling factors, *Fuel*, Volume 84, Issue 16, 2005, Pages 2116-2130, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.04.023>.

- Yescas Albarrán C. A., Cruz León A., Gómez M. U., Lara Bueno, A., & Maldonado Torres, R. (2017). Árboles nativos con potencial dendroenergético para el diseño de tecnologías agroforestales en Tepalcingo, Morelos. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (16), 3301–3313. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.398>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México

## ANEXOS

### Carta aceptación congreso REMBIO

Resultados de selección - XVII Reunión Nacional REMBIO

Estimadas **Sinahi Hernández Zaragoza** y **Ana Cristina Hernández Dias**,

Es un placer comunicarles que su contribución ha sido **ACEPTADA** para ser presentada en formato **CARTEL** durante la **XVII Reunión Nacional** de la REMBIO (**Folio: 502**).

Para continuar con el proceso, les solicitamos **enviar su resumen** al correo: [cartelesrembio2023@gmail.com](mailto:cartelesrembio2023@gmail.com) en formato **WORD** antes del **20 de octubre**.

Además, les pedimos que **confirmen su participación** completando el proceso de registro antes del **20 de octubre**. Para esto, llenen el siguiente formulario: <https://forms.gle/kaFKuTr354Prjbo6>, paguen la cuota de recuperación correspondiente, y envíen su comprobante de pago al correo: [admon@rembio.org.mx](mailto:admon@rembio.org.mx).

Si tiene alguna pregunta o hubiera algo en lo que les podamos ayudar durante sus preparativos, no duden en contactarnos al correo: [info.xvii.reunionrembio@gmail.com](mailto:info.xvii.reunionrembio@gmail.com).

¡Gracias por participar!



27 y 28 de Noviembre | Morelia, Michoacán, México  
Email: [info.xvii.reunionrembio@gmail.com](mailto:info.xvii.reunionrembio@gmail.com)

Visita nuestra página web en: <https://rembio.org.mx>

### Constancia de participación congreso REMBIO

**XVII REUNIÓN NACIONAL**  
RED MEXICANA DE BIOENERGÍA  
BIOENERGÍA, CRISIS ENERGÉTICA Y RESILIENCIA

OTORGA LA PRESENTE:  
**CONSTANCIA**

A: Sinahi Hernández Zaragoza, Ana Cristina Hernández Dias, Nancy Guadalupe González Canché, Johannes Cornelis Van der Wal y Liliana Pampillón González

Por su valiosa participación con la contribución en cartel titulada "Propiedades energéticas de especies leñosas de la región de la chontalpa para su aprovechamiento sustentable", presentada como parte de la sección temática "Materias primas para bioenergía" durante el en la **XVII Reunión Nacional de Bioenergía**, realizada los días 27 y 28 de noviembre del 2023 en la ciudad de Morelia, Michoacán.

PRESIDENTE DE LA REMBIO  
Mtro. Rodolfo Díaz Jiménez

COORDINADORA ACADÉMICA DE LA XVII RN  
Biol. Teresita Arias Chalico

## Anexo 7.

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	“CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE DIVERSAS ESPECIES LEÑOSAS DE LA REGIÓN CHONTALPA DE TABASCO CON FINES ENERGÉTICOS”
<b>Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:</b>	Sinahi Hernández Zaragoza
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0006-6159-633X">https://orcid.org/0009-0006-6159-633X</a>
<b>Resumen de la Tesis:</b>	<p>El uso de la leña especialmente en comunidades rurales es de gran importancia. Sin embargo, los estudios técnicos con enfoque de valorización energética son limitados, se requiere más información al respecto, que sea sustento para evitar su uso desmedido y deforestación.</p> <p>Es por ello por lo que la siguiente investigación tuvo como objetivo analizar las características físicas, proximales y energéticas de 18 especies preferidas en la zona de La Chontalpa en estado de Tabasco, México. Se evaluaron la humedad, densidad aparente, contenido de volátiles, carbono fijo, contenido de cenizas, poder calorífico superior, así como el índice de calidad energética de biomasa leñosa denominado FVI.</p> <p>La humedad de la madera varió de 1.3% y 3.65% siendo <i>Cedrela odorata</i> y <i>P. guajava</i> las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. La densidad aparente varió de 0.28 g/cm<sup>3</sup> y 0.85 g/cm<sup>3</sup> siendo <i>Lippia myriocephala</i> y <i>R. mangle</i> las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. El contenido de volátiles vario de 97.21% y 99.54%, siendo <i>Salix alba</i> la que mostró el valor mínimo y <i>Tabebuia rosea</i> el valor máximo. El carbono fijo varió de 1.03% y 6.14% siendo <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Avicennia germinans</i> las que presentaron los valores mínimos y máximos, respectivamente. El contenido de cenizas varió de 0.56% y 4.85%</p>

	<p>siendo <i>Tabebuia rosea</i> la que mostró el valor mínimo y <i>Avicennia germinans</i> el valor máximo. El poder calorífico superior varió de un valor mínimo de 15.01 MJ/kg para <i>Avicennia germinans</i> a 17.77 MJ/kg como valor máximo para <i>Gliricidia sepium</i>. En cuanto al índice de valor de combustible se encontró el valor máximo para <i>Diphysa americana</i> con 110.28 y el mínimo para <i>Avicennia germinans</i> con 6.52.</p> <p>Las leñas que obtuvieron las mejores propiedades para ser utilizadas como un bioenergético y que cumplen con los estándares de calidad fueron: Chipilin (<i>Diphysa americana</i>), Macuili (<i>Tabebuia rosea</i>), Cedro (<i>Cedrela odorata</i>), Cesniche (<i>Lippia myriocephala</i>) y Tinto (<i>Lippia myriocephala</i>).</p>
<p><b>Palabras claves de la Tesis:</b></p>	<p>índice de valor de combustible; Leña; Poder calorífico, biocombustible.</p>
<p><b>Referencias citadas:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alvarado-Machuca, S. V., Álvarez-Sánchez, E., Maldonado-Torres, R., &amp; Sánchez-Velez, A. S. (2018). Consumo de leña en México: hábitos de uso, problemática asociada y alternativas sostenibles de solución. <i>Álvarez-Sánchez ME, Vázquez-Alarcón A, coords. Agroforestería para conservación de los recursos naturales y productividad. México: Universidad Autónoma Chapingo. <a href="https://doi.org/10.17129/botsci.3147">https://doi.org/10.17129/botsci.3147</a></i></li> <li>• ASTM D2395-14, Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials: ASTM International; United States, 2015.</li> <li>• Bhatt, B.P.; Tomar, J.M.S.; Bujarbaruah, K.M. Characteristics of some firewood trees and shrubs of the Northeastern Himalayan region, India. <i>Renew. Energy</i> 2004, 29, 1401–1405.</li> <li>• “Biomass Feedstocks,” in <i>Biofuels: Securing the Planet’s Future Energy Needs</i>, London: Springer London, 2009, pp. 45–85.</li> <li>• Bruzos, T. 2009. Propiedades físicas de la madera. <i>Maderas: Ciencia y tecnología. Universidad del Bio, Chile.</i> 11(1):3-18.</li> </ul>