



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**CARACTERIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON
RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS DE ARTESANIAS EN
TABASCO**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

DIANA ISABEL BURGOS OLÁN

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DRA. LILIANA PAMPILLÓN GONZÁLEZ

EN CODIRECCIÓN DE:

DRA. NANCY GUADALUPE GONZÁLEZ CANCHÉ

VILLAHERMOSA, TABASCO. SEPTIEMBRE DE 2024.

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Anexo 2

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, el día 03 del mes de junio del año 2024, el que suscribe Diana Isabel Burgos Olán alumna del Programa de Ingeniería Ambiental con número de matrícula 182G24170, adscrito 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 en Licenciatura en Ingeniería Ambiental y titulada "CARACTERIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS DE ARTESANIAS EN TABASCO". 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 03 de junio de 2024.

Nombre y Firma



Diana Isabel Burgos Olán



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024
Felipe Carrillo
PUERTO**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 13 de Agosto 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. **DIANA ISABEL BURGOS OLÁN** 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 DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS ARTESANÍAS EN TABASCO**".

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**

**UJAT
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**
GOBIERNO FEDERAL
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

AGOSTO 13 DE 2024

**C. DIANA ISABEL BURGOS OLÁN
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL
PRESENTE**

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 DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS ARTESANÍAS EN TABASCO"**, asesorado por Dra. Lilitiana Pampillón González y Dra. Nancy Guadalupe González Canche, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por la Dra. Rocío López Vidal, Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dra. Lilitiana Pampillón González, Dr. José Ángel Gaspar Génico y Dr. Arturo Valdés Manzanilla.

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


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**



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



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

 Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

13 de agosto de 2024

C. Diana Isabel Burgos Olán
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 de biocombustibles sólidos elaborados con residuos de fibras vegetales derivados de artesanías en Tabasco".

OBSERVACIONES:

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

RESULTADO DE SIMILITUD	9 %
	10461 palabras, 59 coincidencias y 36 fuentes

Finalmente, se le solicita a la **C. Diana Isabel Burgos Olán**, 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



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



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRUNQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

 Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

RESULTADOS DE PORCENTAJE DEL PROGRAMA DE SIMILITUD (SOFTWARE)

Caracterización de biocombustibles sólidos elaborados con residuos de fibras vegetales derivados de artesanías en Tabasco

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.colpos.mx Internet	76 palabras – 1%
2	www.researchgate.net Internet	64 palabras – 1%
3	www.slideshare.net Internet	56 palabras – 1%
4	es.scribd.com Internet	53 palabras – 1%
5	repository.uamerica.edu.co Internet	47 palabras – 1%
6	hdl.handle.net Internet	46 palabras – 1%
7	www.ecosur.mx Internet	35 palabras – < 1%
8	documentop.com Internet	33 palabras – < 1%
9	www.semanticscholar.org Internet	31 palabras – < 1%

10	repositorio.ucv.edu.pe Internet	28 palabras – < 1%
11	revistas.uaq.mx Internet	26 palabras – < 1%
12	rembio.org.mx Internet	22 palabras – < 1%
13	revista.ecogestaobrasil.net Internet	22 palabras – < 1%
14	renati.sunedu.gob.pe Internet	21 palabras – < 1%
15	ri-ng.uaq.mx Internet	21 palabras – < 1%
16	alicia.concytec.gob.pe Internet	17 palabras – < 1%
17	eprints.uanl.mx Internet	16 palabras – < 1%
18	issuu.com Internet	16 palabras – < 1%
19	rdgroups.ciemat.es Internet	14 palabras – < 1%
20	bioresources.cnr.ncsu.edu Internet	13 palabras – < 1%
21	rtbioenergia.org.mx Internet	12 palabras – < 1%

22	www.businessmarketinsights.com Internet	12 palabras — < 1%
23	archive.org Internet	11 palabras — < 1%
24	noticias-ultimo1.blogspot.com Internet	11 palabras — < 1%
25	HARALD WILSON FERNÁNDEZ PURATICH. "VALORIZACIÓN INTEGRAL DE LA BIOMASA LEÑOSA AGROFORESTAL A LO LARGO DEL GRADIENTE ALTITUDINAL EN CONDICIONES MEDITERRÁNEAS", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Crossref Posted Content	10 palabras — < 1%
26	biodieselhoy.blogspot.com Internet	10 palabras — < 1%
27	clacsec.lima.icao.int Internet	10 palabras — < 1%
28	docplayer.es Internet	10 palabras — < 1%
29	grad.uprm.edu Internet	10 palabras — < 1%
30	mdpi-res.com Internet	10 palabras — < 1%
31	repository.unab.edu.co Internet	10 palabras — < 1%
32	ri.uaemex.mx Internet	10 palabras — < 1%

33	treatkidney.blogspot.com Internet	10 palabras — < 1%
34	worldwidescience.org Internet	10 palabras — < 1%
35	www.appa.es Internet	10 palabras — < 1%
36	www.coursehero.com Internet	10 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

DESACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 10 PALABRAS

México.

de Tabasco.

Anexo 4

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 03 de junio de 2023

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORA y AUTORAS en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "CARACTERIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS DE ARTESANIAS EN TABASCO".

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

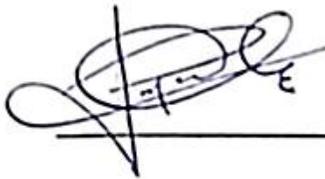


Egresada Diana Isabel Burgos Olán

DIRECTORA Dra. Liliانا Pampillón González

CODIRECTORA Dra. Nancy González Canché

TESTIGOS



AGRADECIMIENTOS

Si pudiste... y otras cosas que quiero decirle a mi yo del pasado.

A mis asesoras, por todo su apoyo en este trabajo y por brindarme la oportunidad de trabajar en conjunto y brindarme sus conocimientos para crecer no solo personalmente sino también académicamente.

A mis padres, porque son uno de los pilares más importantes en mi vida y que sin todo el apoyo de ellos no habría llegado a donde estoy, gracias por enseñarme todo lo que sé, por brindarme todo su amor, su paciencia, su dedicación y por enseñarme a ser apasionada y determinada en cada una de mis metas, por siempre creer en mí y en mis sueños y dejarme volar.

A mi esposo, por siempre caminar a mi lado tomando mi mano, sosteniéndome y apoyándome cuando sentía que no podía con el peso sobre mis hombros, por estar en mis momentos buenos, malos e incluso en los peores. Te amo Ramiro, porque desde el primer día me brindaste tu amor incondicional y tu confianza. Sigamos juntos hasta el fin de mundo.

A Natalia, que me enseñaste lo que es el verdadero amor desde que me enteré de tu llegada.

A Marcela, por ser mi confidente y siempre brindarme un hombro en el cual llorar y apoyarme cuando me sentía sola, inclusive a la distancia, porque para mi eres una hermana y tu amistad es muy valiosa. Gracias a ti, creo firmemente que las mejores amigas también son almas gemelas.

Finalmente, un especial agradecimiento a silvana y a mis gatos Rufino y Frijola, quienes han sido mis compañeros fieles durante estos años de estudio. Con su presencia tranquila y su ronroneo, me ayudaron a mantener la concentración y sobrellevar los momentos de estrés. Además, sus muestras de cariño y su amor incondicional me recuerdan siempre la importancia de tomarme un descanso y disfrutar de las cosas simples de la vida.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
	XVI

	Pág.
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. HIPÓTESIS	9
1.5. OBJETIVO GENERAL	10
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.7. ÁREA DE ESTUDIO	11
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1. EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO	12
2.2. BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS: ESTRATEGIAS PARA APROVECHAR LA BIOMASA	15
2.3. PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS	18
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. PRE-TRATAMIENTO DE LA BIOMASA PARA CARACTERIZACIÓN	19
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA	21
3.2.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (ASTM D 1348-94)	23
3.2.2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS (ASTM D 1755-95)	24
3.2.3. DETERMINACIÓN DE VOLÁTILES (ASTM E 872-82)	25
3.3. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA BIOMASA	27
3.3.1. DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO (ASTM D 5468-02)	27
3.4. FORMULACIÓN DE LOS PELLETS	30

3.5. DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO DE LOS PELLETS	32
3.6. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO	32
3.7. ANÁLISIS ELEMENTAL: CARBONO (C), NITRÓGENO (N), HIDRÓGENO (H) Y AZUFRE (S) TOTAL	33
3.8. ÍNDICE DE FRIABILIDAD	34
3.9. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL PELLET (ICP)	35
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. CARACTERIZACIÓN PROXIMAL DE LA BIOMASA	36
4.2. PROPIEDADES PROXIMALES Y ENERGÉTICAS DE LOS PELLETS DE FIBRAS VEGETALES	38
4.3. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO	42
4.4. ANÁLISIS ELEMENTAL: CARBONO (C), NITRÓGENO (N), HIDRÓGENO (H) Y AZUFRE (S) TOTAL	46
4.5. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL PELLET (ICP)	48
CONCLUSIONES	49
PERSPECTIVAS	50
LITERATURA CITADA	55
ANEXOS	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nivel mundial de consumo final bruto de energía en 2020 (SENER, 2014)	12
Figura 2. Energías renovables 2020 (SENER, 2014)	13
Figura 3. Principales productores de pellets	13
Figura 4. Producción de energía primaria en México (SENER, 2014)	14
Figura 5. Beneficios derivados del desarrollo de pellets. Adaptado de (Romero et al., 2019)	15
Figura. 6. Biocombustibles de segunda y tercera generación y sus aplicaciones. Adaptado de (USAID-IRG, 2009; Naik et al., 2010).	16
Figura 7. Localización del taller de fibras vegetales en la región Chontalpa.	19
Figura 8. Visitas al taller donde se llevaron a cabo las entrevistas	20
Figura 9. Diagrama de etapas de la elaboración de artesanías	20
Figura 10. Pretratamiento de la biomasa	21
Figura 11. Proceso de determinación de volátiles	25
Figura 12. Capsulas utilizadas para el análisis	27
Figura 13. Soporte con alambre de ignición y capsula con la muestra a analizar	28
Figura 14. Equipo de bomba calorimétrica	29
Figura 15. Maquina pelletizadora	30
Figura 16. Pellets de palma de guano	38
Figura 17. Pellets de caña flecha	39
Figura 18. Termograma de la biomasa residual y los pellets elaborados a partir de fibras vegetales	43
Figura 19. Derivada del termograma de la biomasa residual y los pellets elaborados a partir de fibras vegetales	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Investigaciones relacionadas al aprovechamiento energético de la biomasa vegetal residual.	5
Tabla 2. Áreas de oportunidad en la elaboración de biocombustibles sólidos	17
Tabla 3. Características y pretratamiento de la biomasa	18
Tabla 4. Formulación de pellets	31
Tabla 5. Propiedades consideradas para la calidad de los pellets de acuerdo con UNE-EN ISO 17225-2:2014	35
Tabla 6. Propiedades proximales y energéticas de las fibras vegetales residuales	36
Tabla 7. Propiedades proximales y energéticas de los pellets	38
Tabla 8. Análisis mecánico de los pellets	40
Tabla 9. comparación de los parámetros obtenidos versus la norma austriaca para pellets (ÖNORM M7135)	41
Tabla 10. Contenido elemental de los pellets de fibras vegetales	46
Tabla 11. Comparativa de los valores de referencia de UNE-EN ISO 17225-2:2014 con los obtenidos en esta investigación	48

RESUMEN

Debido a la escasez de combustibles fósiles se ha implementado la búsqueda de tecnologías sostenibles con base a la utilización de materias primas renovables. Una de las tecnologías implementadas recientemente para la producción de energía es el uso de la biomasa densificada y estandarizada, conocida como biocombustible sólido o pellet, el cual contiene una mayor densidad energética en comparación a otros combustibles.

Es por esto que, en este trabajo a través de la utilización de biomasa residual vegetal de caña flecha (*Gynerium sagittatum*) y palma de guano (*Sabal yapa C. Wright*) se busca obtener un biocombustible sólido que cumpla con las especificaciones para ser considerado un bioenergético.

Se realizó la recolección de la biomasa, así como su pre tratamiento. Posteriormente, tanto a las muestras de la biomasa, como a los pellets se les realizaron análisis proximales en el horno de secado y la mufla, análisis energéticos en la bomba calorimétrica, análisis mecánicos a través de la medición de longitud, densidad e índice de friabilidad, análisis elemental termogravimétricos.

Los resultados muestran que los pellets de palma de guano tienen un poder calorífico adecuado y cumplen con varios parámetros de acuerdo a la normatividad, a diferencia de los pellets de caña flecha, los cuales no cumplen ciertos parámetros esperados. Se destaca el potencial de valorización de residuos locales para su integración en una economía circular, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y mitigando emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras claves

Pellets, guano, caña flecha, biomasa, fibras vegetales, artesanías.

ABSTRACT

Due to the scarcity of fossil fuels, the search for sustainable technologies based on renewable raw materials has been implemented. One of the technologies recently implemented for energy production is the use of densified and standardized biomass, known as solid biofuel or pellet, which contains a higher energy density compared to other fuels.

For this reason, in this work, we seek to obtain a solid biofuel that meets the specifications to be considered a bioenergetic, through the use of residual vegetal biomass from Arrow Cane (*Gynerium sagittatum*) and Guano Palm (*Sabal yapa* C. Wright).

The biomass was collected, as well as its pretreatment. Subsequently, both the biomass samples and the pellets were subjected to proximal analysis in the drying oven and the muffle, energy analysis in the calorimetric bomb, mechanical analysis through the measurement of length, density and friability index, as well as thermogravimetric and elemental analysis.

The results show that guano palm pellets have an adequate calorific value and comply with several parameters according to regulations, unlike arrow cane pellets, which do not meet certain expected parameters. The potential for valorizing local waste is highlighted for its integration into a circular economy, reducing dependence on fossil fuels and mitigating greenhouse gas emissions.

Keywords

Pellets, guano, arrow cane, biomass, plant fibers, handicrafts

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales y la demanda de energía han aumentado significativamente a lo largo de los años. Debido a la escasez de combustibles fósiles se ha implementado la búsqueda de tecnologías sostenibles con base a las materias primas renovables (Bringezu, 2014).

Una de las tecnologías implementadas recientemente para la producción de energía es el uso de la biomasa densificada y estandarizada, conocida como biocombustible sólido o como pellet, el cual contiene una mayor densidad energética en comparación a otros combustibles.

Emplear residuos o subproductos de diversas actividades es una estrategia interesante, desde el punto de vista de la bioenergía, para por un lado mitigar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y por otro obtener un bioenergético ya sea en forma de gas, sólido o líquido (Sánchez et al 2014). De igual manera se involucra la combustión de emisiones de CO₂, toda la cadena será CO₂ neutral, por lo que es compensada a lo largo de la vida útil del recurso por el proceso de fotosíntesis (Metz, B. Grupo de Trabajo III IPCC, 2007).

Los artesanos del municipio de Nacajuca, Tabasco, utilizan fibras vegetales en el proceso de elaboración de sus artesanías. Los diversos tipos de procesamiento de estos recursos generan residuos de biomasa de palma de guano y de la caña flecha, conocida comúnmente en Tabasco como “cañita”, la cual es desperdiciada, acumulada y quemada sin control, contribuyendo al deterioro ambiental, pero sobre todo afectando la salud de los usuarios. Esta situación resulta ser un área de oportunidad para su valorización energética. En este sentido, la presente investigación está dirigida a la elaboración y caracterización de biocombustibles sólidos (pellets) a partir de la biomasa residual de caña flecha (*Gynerium sagittatum*) y palma de guano (*Sabal yapa C. Wright*).

Uno de los beneficios esperados de esta investigación está relacionado con la generación de información técnico científico respecto al aprovechamiento de las fibras vegetales para su utilización como un biocombustible en sus procesos productivos.

Asimismo, esta tesis forma parte de las líneas estratégicas del proyecto “Plataforma multi actor para la democratización energética en economías sociales y solidarias de comunidades urbanas y rurales en Tabasco”, desarrollado en vinculación con El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR Unidad Villahermosa) con el propósito de atender los problemas relacionados con la pobreza energética de la región Chontalpa de Tabasco. Finalmente, se ofrece una visión de economía circular en donde se reduzca la dependencia sobre los combustibles fósiles a partir de una estrategia de gestión de residuos en los servicios energéticos de viviendas (*M. Soltero et al, 2020*).

1.2. ANTECEDENTES

El conocimiento que existe entre los artesanos sobre el proceso de producción que involucra el uso de recursos naturales, los cuales son utilizados como materia prima, y su efecto en el medio ambiente y, en algunas ocasiones, en la salud de los productores aún no reciben la atención adecuada. Además, la idea de que todo lo que proviene de algún recurso natural tiene una garantía implícita de ser amigable con el medio ambiente ha provocado una falsa idea y fomentan desinformación, debido a que la mayoría de las actividades artesanales se fundamentan en el conocimiento que tienen los artesanos sobre las fibras vegetales utilizadas como materias primas (Caro et al, 2009). Debido a la necesidad de satisfacer el mercado, algunos artesanos optan por incorporar el uso de materiales que les ayudan a agilizar el proceso de producción, lo que provoca efectos negativos al medio ambiente e incluso a la salud de los artesanos (López B. 2009).

El proceso de pelletización es de gran importancia para la producción de energía. De acuerdo con los datos de un informe estadístico de 2019 sobre pellets, se destaca la creciente cantidad de producción de pellets en todo el mundo (*Calderón et, al 2017*). Europa es el mayor consumidor mundial de pellets con una cantidad de 20.3 millones de toneladas de pellets en 2015 (European Biomass Association (AEBIOM), 2016), de las cuales un total de 6.2 millones fueron importados de América, Rusia y Europa del Este. En Latinoamérica, la mayoría de países no cuentan con una industria para la producción y el uso de pellets. En México, la información acerca del uso o la producción de pellets a gran escala es escasa, y lo es más aquella relacionada a partir de estos residuos (*Tauro et al, 2018*).

De acuerdo con Aragón, et. al (2016), la caña flecha cuenta con las características adecuadas para producir pellets, ya que contiene una densidad energética alta. En este sentido, el aprovechamiento de este tipo de biomasa en conjunto con aquella proveniente de palma de guano puede contribuir a la valorización de estos residuos

generados y que a su vez contribuyan a la mitigación del impacto ambiental por la disposición de estos residuos y de la pobreza energética a la que se enfrentan los habitantes de estas comunidades.

Como se observa en la tabla 1, los estudios previos se han enfocado en residuos biomásicos como la caña de azúcar, cáscaras de distintas fibras, borras de café o cultivos tradicionales como residuos de aserrín, mientras que los estudios acerca de fibras vegetales en materia de energía son escasos.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Tabla 1. Investigaciones relacionadas al aprovechamiento energético de la biomasa vegetal residual

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	BIOMASA UTILIZADA	DESCRIPCIÓN (ALCANCES)	AUTOR	AÑO DE PUBLICACIÓN	PAÍS
PRODUCTION AND QUALITY ANALYSIS OF PELLETS MANUFACTURED FROM FIVE POTENTIAL ENERGY CROPS IN THE NORTHERN REGION OF COSTA RICA	<i>Gynerium sagittatum</i> , <i>Phyllostachys aurea</i> , Arundo donaxy, <i>Pennisetum purpureum</i> y <i>Sorghum bicolor</i>	El propósito de este trabajo fue determinar las alternancias requeridas a un proceso de fabricación de pellets de madera y la calidad de los pellets producidos mediante este proceso a partir de cinco cultivos energéticos.	Stephanie Aragón-Garita, Roger Moya, Brian Bond, Jorre Valaert, Mario Tomazello Filho	2016	Costa Rica
PROPUESTA TÉCNICO FINANCIERA PARA LA PRODUCCIÓN DE PELLETS DE BORRA DE CAFÉ UTILIZANDO ACEITE VEGETAL COMO AGLOMERANTE A NIVEL PLANTA PILOTO	Borra de café	Se plantea una propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto	Ramírez Pinzón, Francy Camila Riaño Galán, Yenny Fernanda	2022	
EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS (HOJAS) DE LA COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR COMO POSIBLE BIOCOMBUSTIBLE, Y ANÁLISIS DE	Hojas de caña de azúcar	El crecimiento de la cosecha de la caña en verde en los campos, puede ser de utilidad para la elaboración de pellets y ser utilizados para	Mario Muñoz	2016	Guatemala

PROCESOS QUE PERMITAN SU APROVECHAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.			la generación de energía.			
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PELLETS COMPOSTABLES A BASE DE ALMIDÓN DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM)	Solanum tuberosum		Se planea determinar la factibilidad para la elaboración y la instalación de una planta piloto de pellets compostables a base de papa (Solanum tuberosum).	Pinto Acuña, A. y Sifuentes Quevedo, MA	2021	Perú
DESENVOLVIMIENTO DE PELLETS ECOSUSTENTÁVEL A PARTIR DE CASCA DE COCO VERDE	Cáscara de coco	de	Busca desarrollar y caracterizar pellets a partir de fibra de coco verde, utilizando almidón de maíz como aglutinante, además de compararlos con otros pellets.	Milena Camandaroba Alves, Antonio Martins de Oliveira Junior y Carolina N. Costa Bonfim	2022	Brasil
PELLETS DE ALFALFA DESHIDRATADA "PAD" COMO ESPECIALIDAD (DOCTORAL DISSERTATION)	Alfalfa		Tiene como objetivo mostrar las distintas formas de presentación de la alfalfa	Brassesco, R. F	2021	Buenos Aires
ELABORACIÓN DE PELLETS A PARTIR DE CÁSCARA DE PECANA COMO COMBUSTIBLE BIOENERGÉTICO - CAÑETE	Cáscara de pecana	de	Busca determinar la eficacia de cáscara de pecana para la elaboración de pellets como combustible bioenergético.	Barroso León, Talía Scarlett	2018	Perú

APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA LA PRODUCCIÓN DE PELLETS DE BIOMASA LEÑOSA TORREFACTADA.	Biomasa leñosa torrefactada	Conversión de residuos forestales en pellets para generar impactos positivos en los aspectos ambiental, social y tecnológico.	Vences Guillén, R., y Poggi Dávila, J	2014	Perú
DESARROLLO DE PELLETS A PARTIR DE TRES ESPECIES LEÑOSAS BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	Una especie forestal (Quercus ilex), un cultivo energético (Paulownia spp.) y tres especies frutales Citrus sinensis (naranja), Olea europaea Prunus amygdalus(almendro).	Determinar la aptitud de tres tipos arbóreos como pellet.	Harald Fernández-Puratich, José Vicente Oliver-Villanueva, Mireya Valiente, Salvador Verdú y Nuria Albert	2013	España
APROVECHAMIENTO DE BIOMASA PELETIZADA EN EL SECTOR LADRILLERO EN BOGOTÁ-COLOMBIA: ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL	residuos de madera, provenientes de podas y residuos de aserrín	Comparación del poder energético y ambiental de dos tipos de biomasa pelletizadas,	César García-Ubaque, Martha Vaca-Bohórquez, Gabriel Talero	A 2013	Colombia

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los residuos de palma de guano y caña flecha que se encuentran en el municipio de Nacajuca pueden ser adecuados para la producción de biocombustibles sólidos y una posible solución para uno de los puntos más importantes en el proceso de elaboración de artesanías. Como parte del proceso de elaboración de estas artesanías, se emplea el corte y desmonte de la fibra, para su traslado al taller, en donde es secada y posteriormente, la coloración de la fibra, donde los artesanos utilizan leña para elevar la temperatura del agua y colocar el colorante para que la fibra se torne de distintos tonos coloridos.

La elaboración a escala piloto de biocombustibles sólidos presenta ventajas ecológicas, sociales y económicas; en el ámbito ecológico éstos contienen un poder calorífico y propiedades fisicoquímicas atractivas en comparación con la leña. En ámbitos sociales y económicos, promueven el interés en el aprovechamiento de los recursos y generando impactos mínimos, consiguiendo una base de sustento, que permite conservar y proteger no solo la especie, sino los recursos del área.

Una justificación más responde al contexto en el cual se realiza esta investigación, que es en el marco del proyecto de investigación e incidencia sobre “Plataforma multi-actor para la democratización energética desde iniciativas de economía social y solidaria en comunidades rurales-urbanas de Tabasco Democracia Energética en Economías Sociales y Solidarias en comunidades rurales y urbanas de Tabasco”. Dicho proyecto se inserta dentro de los Programas Nacionales Estratégicos a las demandas sociales del CONAHCYT sobre transición energética y cambio climático.

1.4. HIPÓTESIS

A través de las distintas fibras vegetales caña flecha y palma de guano que contengan un poder calorífico óptimo se pueden obtener materiales densificados con el fin de ser utilizados como biocombustibles sólidos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Obtener un biocombustible sólido a partir de la biomasa residual vegetal de caña flecha (*Gynerium sagittatum*) y alma de guano (*Sabal yapa C. Wright*) que cumpla con las especificaciones para ser considerado un bioenergético.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y seleccionar el tipo de residuos que se genera por las actividades relacionado al tejido de fibras vegetales (artesanías).
- Caracterizar las muestras de biomasa residual vegetal (materia prima) de acuerdo a sus parámetros fisicoquímicos (proximal, elemental y energético).
- Elaborar y caracterizar (energética, mecánica y proximal) los biocombustibles sólidos (pellets) de la biomasa residual vegetal.
- Evaluar la calidad final de los biocombustibles sólidos a partir de las propiedades previamente determinadas.

1.7. ÁREA DE ESTUDIO

- Las muestras de la palma de guano y de caña flecha para la obtención y caracterización de biocombustibles sólidos es obtenida de la Carretera Villahermosa/Nacajuca, Tapotzingo, Municipio de Nacajuca, Tabasco, México.
- Las muestras de la palma de guano y de caña flecha fueron recolectadas del taller artesanal Tan Te'e ubicado en la Carretera Villahermosa/Nacajuca, Tapotzingo, Municipio de Nacajuca, Tabasco, México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO

La energía obtenida a través de la biomasa es definida como bioenergía. El material orgánico que más ha sido utilizado a lo largo de los años es la biomasa, la cual es producida por las plantas, el agua y el dióxido de carbono mediante el proceso de la fotosíntesis. De acuerdo a su origen y su desarrollo, la biomasa proporciona energía útil y viable para su aprovechamiento ya sea sólida, líquida o gaseosa, es por ello, que la bioenergía tiene características como recurso energético universal limpio y con un alcance alto, por lo que, si se aprovecha su capacidad y se explora con objetivos de sustentabilidad (Sampeiro y Martínez, 2010).

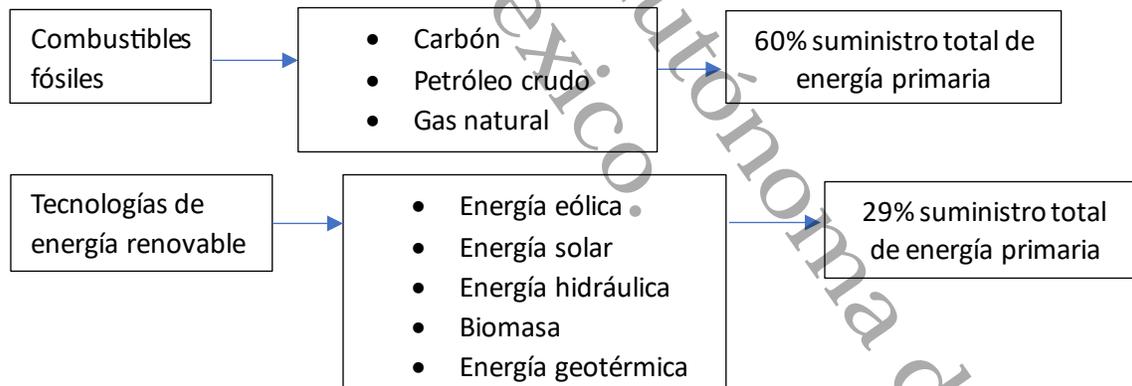


Figura 1. Consumo final bruto de energía a nivel mundial en el 2020

Fuente: SENER (2014)

De acuerdo con la SENER (2020) las energías renovables representaron el 29% de suministro total de energía primaria, en la cual predominaron la energía solar y la energía eólica, y teniendo aportaciones de la energía hidroeléctrica y de la biomasa.

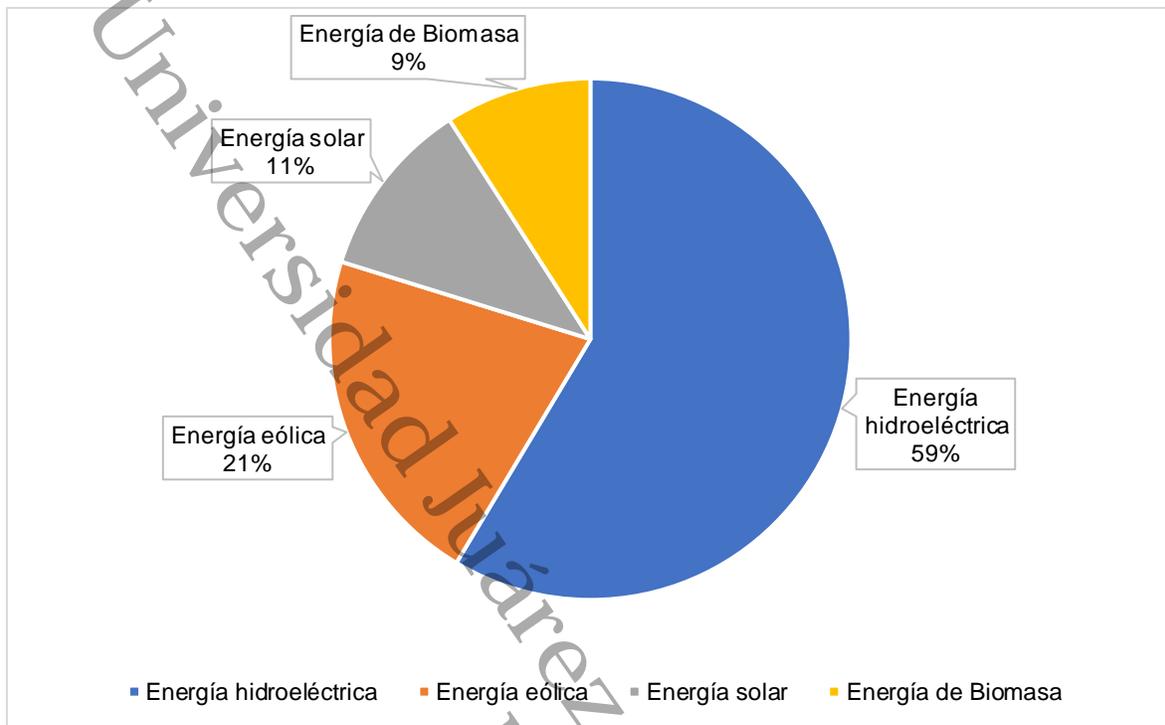


Figura 2. Producción de energías renovables en el mundo 2020 (SENER, 2014)

Con respecto a la producción de pellets en el mundo, se reportó que, en el 2022, se produjeron 46.4 millones de toneladas de pellets de madera, los cuales se dividen en 1.900 millones m³ elaborados a base de madera y 54.9 millones de toneladas elaborados a base de carbón vegetal.

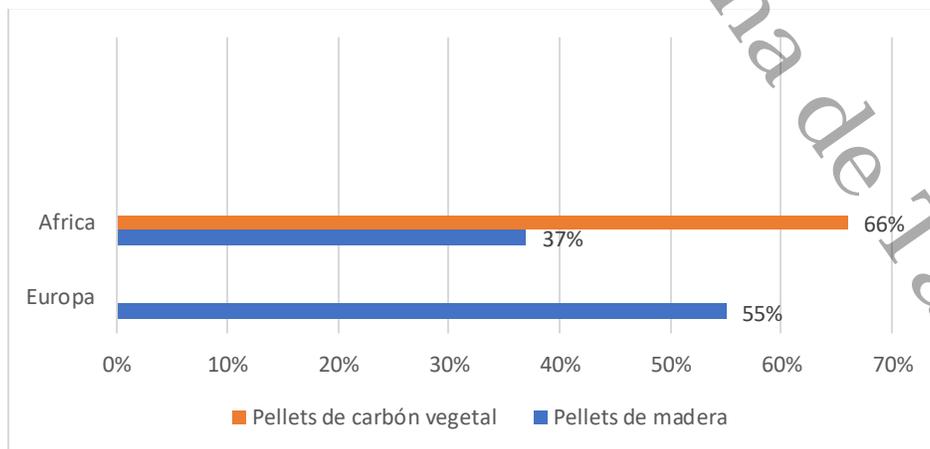


Figura 3. Principales productores de pellets

Fuente: GLOBAL BIOENERGY STATISTICS REPORT (2023).

Los datos anteriores mostrados aún son incipientes dado que la matriz energética en México sigue siendo fuertemente dependiente de los combustibles fósiles, tal como lo muestra la figura 4 en donde resalta el uso de petróleo, gas natural y carbón como los principales energéticos para complacer la necesidad de energía primaria (SENER, 2014).

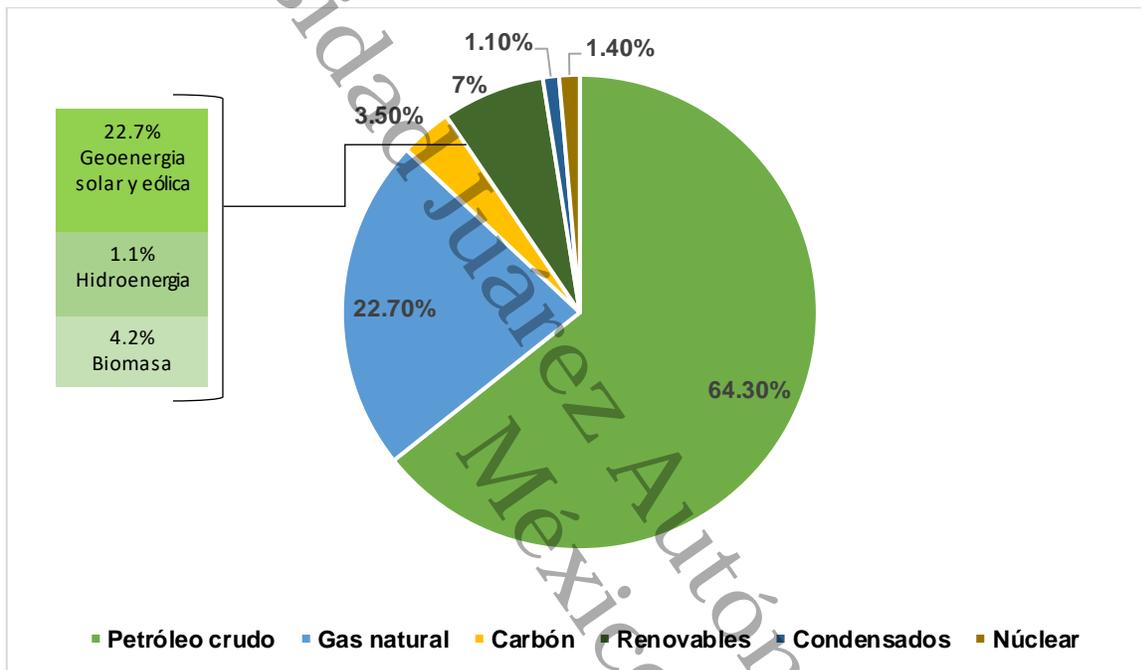


Figura 4. Producción de energía primaria en México (SENER, 2014)

Considerando esta situación energética es importante la puesta a otras fuentes de energía, como lo es la bioenergía que presenta diversas ventajas (REMBIO, 2011):

- Es adaptable, por lo que puede satisfacer la mayoría de los usos finales de la energía, ya que puede proporcionar calor y electricidad en forma de combustibles (sólidos, líquidos y gaseosos);
- Se puede almacenar y tiene ventajas para su aplicación de calor y producción de electricidad;
- Es escalable;
- Es comercial.

2.2. BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS: ESTRATEGIAS PARA APROVECHAR LA BIOMASA

Los biocombustibles sólidos son densificados que, por medio de la combustión, ya sea directa o previa gasificación o pirólisis generan calor y electricidad, estos están fabricados principalmente de aserrín, aunque actualmente se está utilizando también como materia prima algunos residuos agroindustriales. La fabricación de pellets lleva a cabo distintos procesos: el secado, la reducción de tamaño y el densificado. Al finalizar estos procesos, el poder calorífico de la materia aumenta, así como su densidad energética y la eficiencia de combustión. De igual manera, se simplifica el almacenamiento y manejo (este puede ser mecanizado) (REMBIO,2024).

De acuerdo con Romero et al (2019), existen beneficios derivados del desarrollo de pellets, los cuales son:



Figura 5. Beneficios derivados del desarrollo de pellets

Fuente: Adaptado de Romero et al (2019)

Actualmente, los biocombustibles sólidos tienen múltiples usos: la generación de electricidad por combustión directa, la gasificación en centrales carboeléctricas, cogeneración de electricidad, calefacción en edificios o viviendas; algunas industrias menores utilizan la biomasa sólida y procesada para distintos equipos, ya

sea como combustibles o como reductores del coque de carbón. También existen plantas piloto donde gasifican químicos y biocombustibles para obtener gas de síntesis y convertirlo en productos químicos y biocombustibles sintéticos. En un futuro próximo, se espera que la biomasa sólida (especialmente la lignocelulósica) se convierta en la materia prima principal para los biocombustibles de segunda generación (Masera et al., 2011). Los biocombustibles de segunda generación están caracterizados por no competir con el sector alimenticio, y estar elaborados a partir de materiales que son considerados residuos; estos biocombustibles brindan posibilidades y nuevas perspectivas para el desarrollo de tecnologías con diversos beneficios ambientales (figura 6).

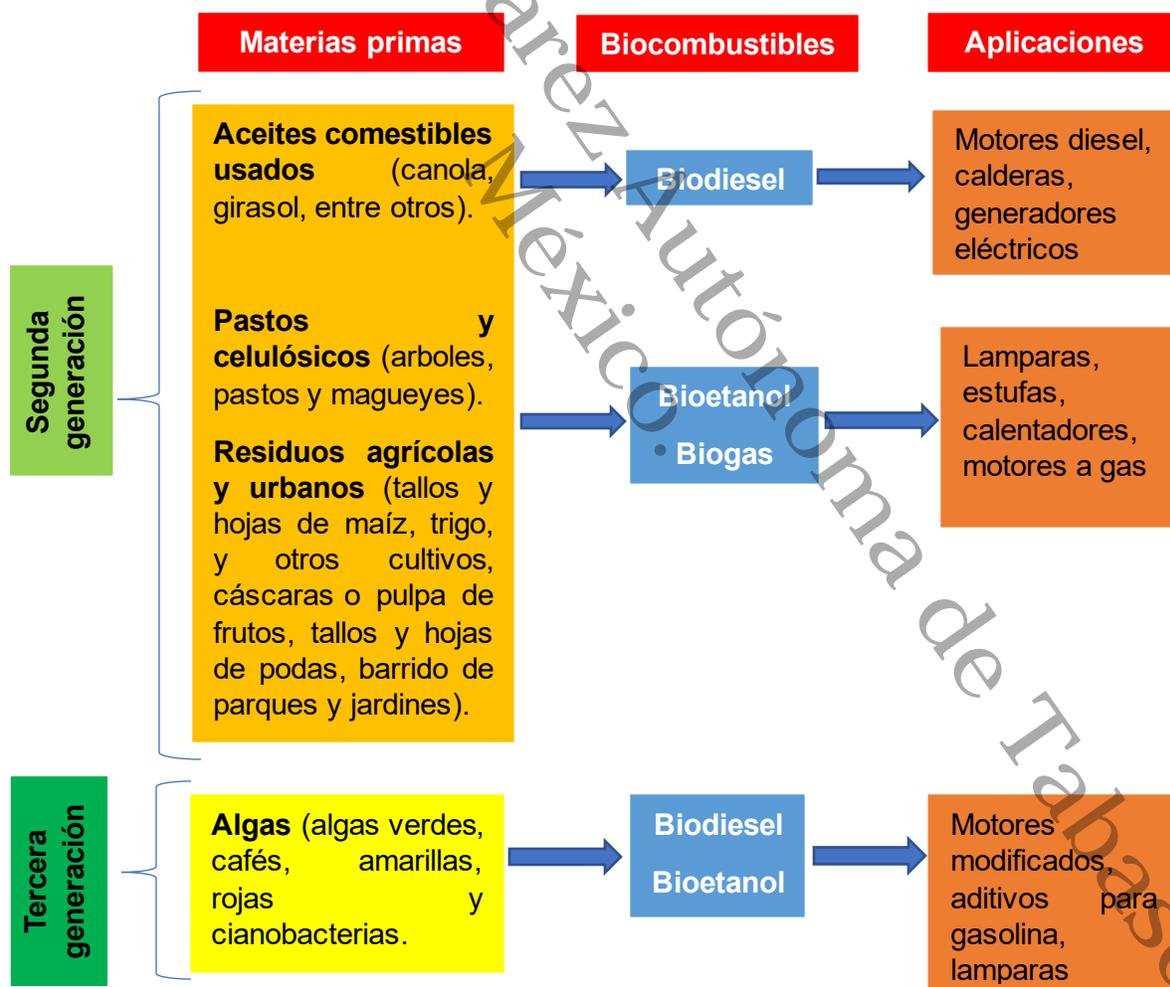


Figura. 6. Biocombustibles de segunda y tercera generación y sus aplicaciones. Adaptado de (USAID-IRG, 2009; Naik et al., 2010).

Los biocombustibles presentan grandes beneficios, sin embargo, para su correcto funcionamiento es necesario tener en cuenta los retos sociales y ambientales que requieren (Romero et al., 2019).

Tabla 2. Áreas de oportunidad en la elaboración de biocombustibles sólidos

Áreas de oportunidad en la elaboración de biocombustibles sólidos	
Productores	Consumidores
Incentivan a los pequeños comercios agrícolas en sistemas de comercialización de la bioenergía	Compran y consumen energía térmica y eléctrica a partir fuentes sustentables de biomasa.
Reducen los impactos ambientales	Observan que existen diversas aplicaciones a pequeñas escalas de lo que es la bioenergía en el hogar.
Incentivan a más comunidades de la región a ser participe del recurso que es la bioenergía y la seguridad eléctrica	Acuden al gobierno para la aplicación de requisitos que tengan relación con la bioenergía, donde incluyan la producción de calor y electricidad.

Los biocombustibles son un área de oportunidad para reducir la dependencia de sobre los combustibles derivados del petróleo, en el sector de transporte y en sector de la industria. Esto permite sostener la disponibilidad de alimentos en regiones que tienen baja producción, además de darle un segundo uso a los materiales que, de alguna otra manera, terminarían siendo combustionados directamente, provocando un daño a la atmosfera (Gómez Castro et al., 2019).

2.3. PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS

La producción de biocombustibles sólidos contiene diversas etapas que incluyen el pre tratamiento de la biomasa, la densificación y la caracterización de propiedades (Vignote, 2016; Zafra 2016,2017). La tabla 3 describe las diferentes etapas para la producción de pellets.

Tabla 3. Algunos pre-tratamientos y técnicas de caracterización de la biomasa

Pre – tratamiento o técnica	Descripción
Secado	Si las fibras están en material verde (húmedas) es necesario que se lleve a cabo un proceso para reducir el contenido de humedad por medio de un proceso de secado.
Picado	Es importante reducir el tamaño y remover las impurezas
Molido (Granulometría grande y heterogénea)	Se refiere a que es necesario homogeneizar el tamaño de partícula de la biomasa.
Formulación y Mezclado	Se mezcla las fibras molidas con un aglutinante que permita que se mezclen las partículas de la fibra, el aglutinante puede ser agua.
Pelletizado	Densificación o compactación de la mezcla para producir pellets o briquetas
Enfriado	Debido a que en el proceso de pelletizado se trabaja con una temperatura alta, los pellets deben ser enfriados con ayuda de ventiladores para facilitar su manejo.
Empaquetado	Los pellets enfriados pueden ser almacenados a granel en bolsas, y almacenados en un ambiente sin humedad.

CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PRE-TRATAMIENTO DE LA BIOMASA PARA CARACTERIZACIÓN

Las muestras de la caña flecha (*Gynerium sagittatum*) y palma de guano (*Sabal yapa* C. Wright) para la obtención y caracterización de biocombustibles sólidos es obtenida de la Carretera Villahermosa/Nacajuca, Tapotzingo, Municipio de Nacajuca, Tabasco, México.

Las muestras de la palma de guano y de caña flecha fueron recolectadas del taller artesanal Tan Te'e ubicado en la Carretera Villahermosa/Nacajuca, Tapotzingo, Municipio de Nacajuca, Tabasco, México con coordenadas $18^{\circ}12'00''N$ $93^{\circ}01'04''W$

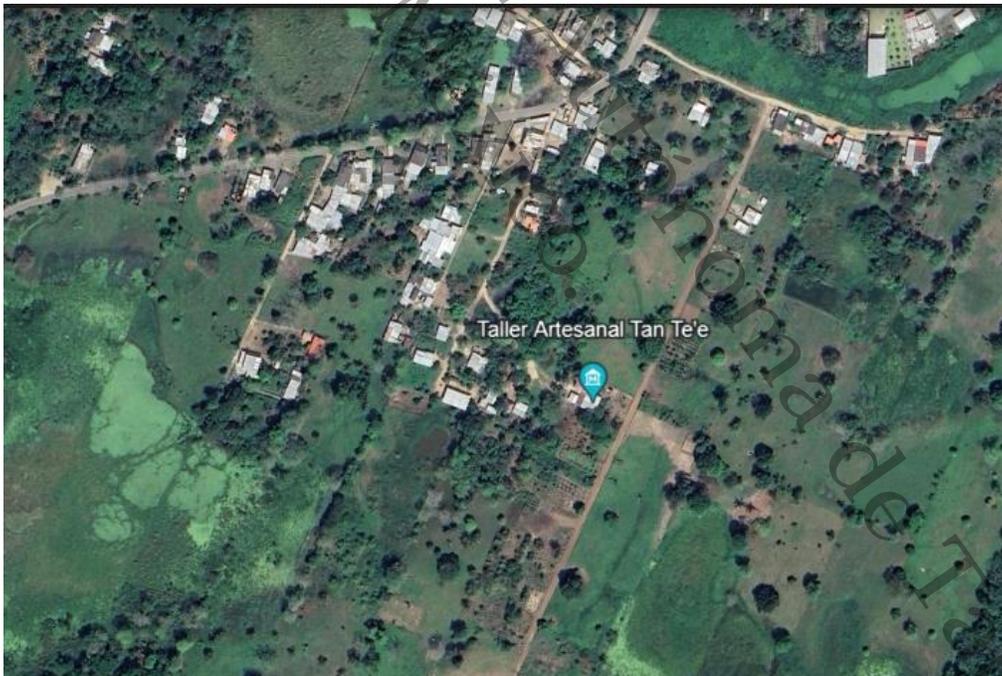


Figura 7. Localización del taller de fibras vegetales en la región Chontalpa.

En este taller se fabrican distintos tipos de artesanías con distintos tipos de materias primas, para saber qué tipo de muestra se podían recolectar, se realizó una entrevista semiestructurada donde se identificaron dos materias primas principales (figura 8).



Figura 8. Visitas al taller donde se llevaron a cabo las entrevistas

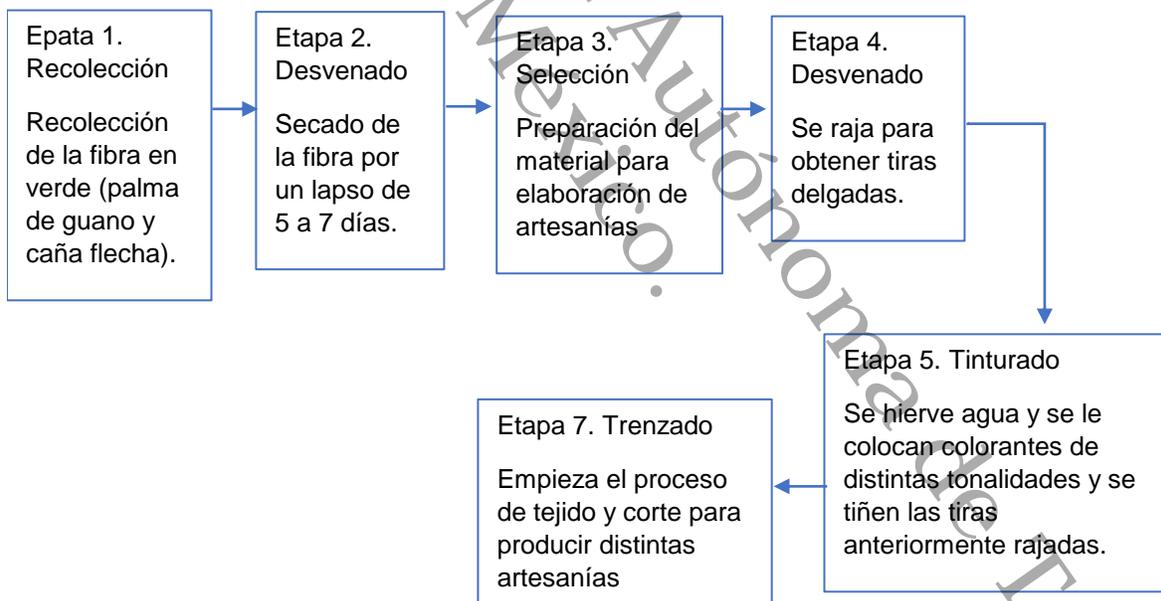


Figura 9. Diagrama de etapas de la elaboración de artesanías (elaboración propia)

De acuerdo a la figura 9 la elaboración de las artesanías tiene un proceso de 6 etapas, en “etapa 4. Desvenado” y “etapa 7. Trenzado” se recolectaron los residuos de los cortes de las plantas, ya que, en ambas etapas, los residuos generados son abundantes.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Las muestras seleccionadas de palma de guano y de caña flecha recolectadas fueron etiquetadas y almacenadas correctamente; fueron llevadas al laboratorio para el análisis.

Las muestras de palma de guano y de caña flecha que fueron utilizadas en este estudio eran partes seleccionadas, solo servían las hojas secas que eran llamadas “tiras” por los propios artesanos, además, tuvieron un pretratamiento el cual consistió en cortar manualmente tira por tira con ayuda de una cizalla para ayudar a reducir el tamaño de las muestras para mejorar el manejo de las mismas.

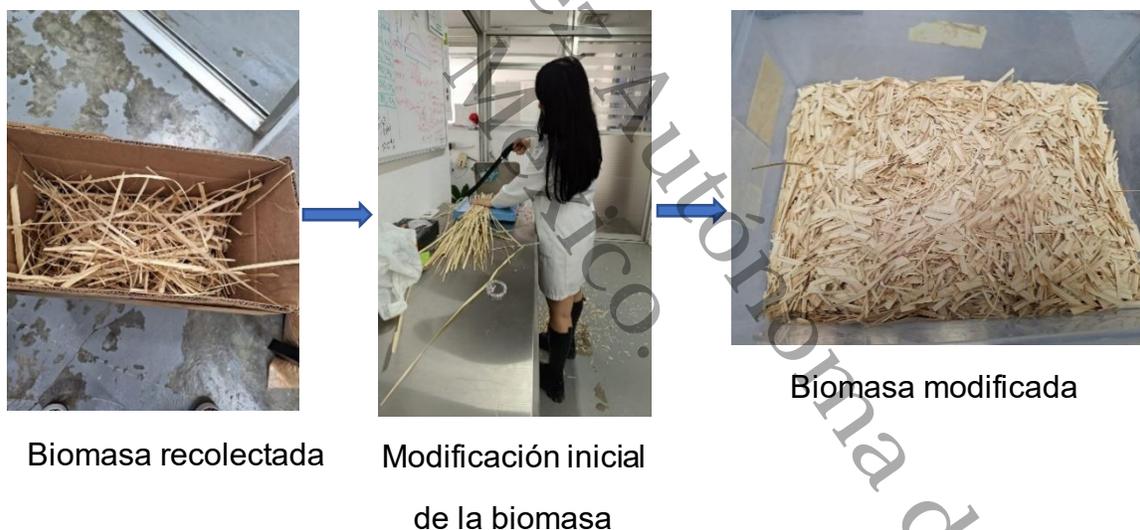


Figura 10. Pretratamiento de la biomasa

Como etapa inicial se colocó la biomasa a la intemperie, con ayuda de un horno de convección ECOSHEL modelo 9053A se eliminó la humedad de la biomasa por un lapso de veinticuatro horas, pasado ese lapso de tiempo la biomasa fue cortada en trozos pequeños y con ayuda de un molino eléctrico VEVOR modelo HR-3000 el cual cuenta con una perilla la cual permitió ajustar la finura del polvo al tamaño requerido. Finalmente se homogeneizó a un tamaño de partícula por medio de una etapa de cribado.

3.2.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (ASTM D 1348-94)

Se utilizaron tres crisoles limpios, se les colocó una etiqueta con la marca "H1", "H2" y "H3", se llevaron a la balanza analítica y se registró su peso. Después se tara la balanza y se coloca 1.5 g de muestra en cada crisol. Con ayuda de una pinza para crisol, los crisoles con la muestra fueron colocados dentro del horno de secado, el horno se programó a 105°C por un lapso de 24 horas. Pasadas las 24 horas, con ayuda de una pinza para crisol se sacaron los crisoles y se colocaron en el desecador, los crisoles fueron llevados a la balanza analítica para obtener el peso final del crisol más la muestra y registrarlo.

El contenido de humedad de las muestras se determinó a llevando a cabo la ecuación:

$$H = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_2)} \times 100$$

(1)

Donde:

- H = contenido de humedad de las muestras.
- P₁ = Peso del crisol y muestra antes del calentamiento (g).
- P₂ = Peso del crisol y muestra después del calentamiento (g).

3.2.2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS (ASTM D 1755-95)

Con ayuda de una pinza para crisol se llevaron tres crisoles limpios y con una etiqueta con la marca "H1", "H2" y "H3". Con ayuda de una pinza para crisol se sacaron crisoles el desecador; los crisoles fueron llevados a la balanza analítica para registrar su peso. Se taró la balanza y se colocó 1g de muestra seca. Los crisoles fueron colocados en la mufla y se programó a una temperatura de 250°C, cuando llegó a la temperatura deseada se cronometraron treinta minutos, y después se cronometró por una hora. Pasado ese tiempo se programó la mufla a una temperatura de 550°C y una vez una vez llegado a la temperatura deseada se cronometraron treinta minutos, pasado ese tiempo, se cronometro por dos horas. Pasadas las dos horas se programó la mufla a 250°C, cuando se llegó a la temperatura deseada se procedió a retirar los crisoles con ayuda de una pinza para crisol y guantes y se colocaron en el desecador por un lapso de 15 minutos, con ayuda de la pinza para crisol los crisoles fueron colocados uno a uno en la balanza analítica para registrar el peso final.

El contenido de cenizas de las muestras se determinó a llevando a cabo la ecuación:

$$C = \frac{(P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

- C = contenido de cenizas de las muestras.
- P₁ = Peso del crisol (g).
- P₂ = Peso del crisol y muestra antes del calentamiento (g).
- P₃ = Peso del crisol y muestra después del calentamiento (g).

3.2.3. DETERMINACIÓN DE VOLÁTILES (ASTM E 872-82)

Con ayuda de una pinza para crisol se llevaron tres crisoles limpios y con una etiqueta con la marca "V1", "V2" y "V3", Con ayuda de una pinza para crisol se sacaron los crisoles y se colocaron en el desecador, al igual que el vaso de precipitado con la sílica; los crisoles fueron llevados a la balanza analítica para registrar su peso. Se taró la balanza y se colocó 1g de muestra seca. Se colocaron los crisoles en la mufla y se programó a una temperatura de 950°C por siete minutos, una vez que se alcanzó dicha temperatura se retiraron los crisoles y se colocaron en el desecador por un lapso de 15 minutos. Una vez pasado el lapso de tiempo, con ayuda de la pinza para crisol los crisoles fueron colocados uno a uno en la balanza analítica para registrar el peso final.



Figura 11. Proceso de determinación de volátiles

El contenido de volátiles de las muestras se determinó a llevando a cabo la ecuación:

$$V = \frac{(P_2 - P_3)}{(P_2 - P_1)} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- V = contenido de volátiles de las muestras.
- P₁ = Peso del crisol (g).
- P₂ = Peso del crisol y muestra antes del calentamiento (g).
- P₃ = Peso del crisol y muestra después del calentamiento (g).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

3.3. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

3.3.1. DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO (ASTM D 5468-02)

Para medir el poder calorífico de la materia combustible de la muestra se utilizó la bomba calorimétrica la cual es un equipo que sirve para medir el poder calorífico de sólidos y combustible líquidos.

En tres cápsulas limpias y secas se colocaron 0.5 g de muestra en cada una.



Figura 12. Capsulas utilizadas para el análisis

Para que se llevara a cabo la ignición dentro del cilindro presurizado se utilizó un alambre de ignición, el cual se midió y cortó de acuerdo a la medida del soporte que sostenía la muestra a analizar. Una vez cortado el alambre de ignición se retiró del soporte y se pesó por triplicado, se tomó el promedio del mismo y después se multiplica por un factor de conversión de 1400 J, una vez realizado el cálculo se procedió a colocar de nuevo el alambre de ignición en el soporte. Se colocó la capsula con la muestra en el soporte procurando que el alambre de ignición no tocara la misma.

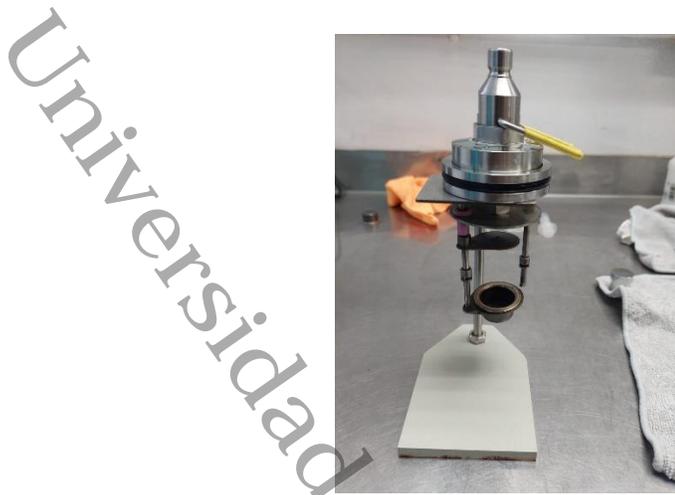


Figura 13. Soporte con alambre de ignición y capsula con la muestra a analizar

Dentro del cilindro de presurizado se añadieron 10 ml de agua desionizada y se colocó el soporte con la muestra dentro y se cerró.

Para llevar a cabo el presurizado dentro del cilindro que contenía la muestra se verificó que el tanque de oxígeno estuviera cerrado y que los tres manómetros se encontraran en ceros. El manómetro no. 1 es el que media la totalidad de presión del tanque de oxígeno, el manómetro no. 2 es el que permitió el paso del oxígeno a la manguera del cilindro de la muestra de acuerdo a la cantidad de presión que se requiere, en este caso 3 MPa; y por último el manómetro no. 3 es el que conectaba la manguera de oxígeno con el cilindro. Todos los manómetros utilizaron como unidad de medida los MPa.

Se verificó que la llave de presurizado estuviera cerrada, se colocó la manguera que transportaba el oxígeno al cilindro de presurizado, esta manguera en su cabezal debía de contar con un manómetro (No. 3) que indicaba la presión en MPa. Una vez conectada la manguera se procedió a abrir el tanque de oxígeno y se verificó que solo marcara presión en el primer manómetro de paso (No.1). Una vez verificada la presión en el primer manómetro se presionó el botón de paso de oxígeno que entraba desde el tanque al cilindro que contenía la muestra, dicho cabezal de manguera contenía también un manómetro que indicaba la presión en MPa, el cual debía de marcar cero. Ya que los manómetros 2 y 3 se encontraron en ceros se empezó a presurizar lentamente la llave que permitía el paso del oxígeno al cilindro,

verificando que la presión aumentara lentamente en los manómetros 2 y 3 hasta que llegara a la presión que requería la muestra a analizar.

Una vez obtenida la presión requerida de oxígeno se procedió a cerrar el tanque de oxígeno y se retiró el tercer manómetro del cilindro que contenía la muestra. Se despresurizo la manguera para que quedara en cero. Por último, se procedió a colocar el cilindro que contenía la muestra dentro de la bomba calorimétrica de la manera más cuidadosa posible. Para finalizar, automáticamente comienza el llenado de la bomba calorimétrica y se empezó a realizar la muestra, el análisis duro en promedio de 15 a 30 minutos, y se esperó hasta que el equipo arrojará un ticket, el cual indicaba el término del análisis.

Se repitió lo mismo con las dos muestras restantes.



Cilindro que contenía
la muestra



Bomba calorimétrica

Figura 14. Equipo de bomba calorimétrica

3.4. FORMULACIÓN DE LOS PELLETS

Para la elaboración de pellets se utilizó una maquina pelletizadora modelo AF – 120CP, la cual contaba con una matriz plana giratoria y dos rodillos, los cuales giraban sobre la matriz en el sentido de las manecillas de reloj, provocando la densificación y compresión del material, de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM E 873-82.



Maquina Peletizadora
Vista por arriba



Maquina Peletizadora
Vista de perfil



Pellets elaborados

Figura 15. Maquina pelletizadora

Para la formulación experimental se hicieron dos formulaciones, una de cada muestra con un porcentaje 100% con la biomasa correspondiente, como se observa en la tabla 2. Es importante mencionar que, no fue posible pelletizar toda la planta, ya que partes como lo eran el tallo, el entrenudo, la vaina y las lígulas, los lóbulos lineales y los peciolos no resultaron aptos para el proceso de molido, pues se observaron dificultades para su capacidad de trituración del molino por lo que fueron descartadas, por lo que, tanto en la caña flecha y la palma de guano, las hojas secas resultaron ser las partes más aptas para poder llevar a cabo el proceso de molido y pelletizado de manera exitosa.

Una de las ventajas de que solo las hojas sean aptas para el proceso de pelletizado, es que, en el proceso de elaboración de artesanías, son justamente las hojas de ambas muestras las que presentan mayor cantidad de residuos, por lo que es una oportunidad de aprovechamiento de estos residuos.

Tabla 4. Formulación de pellets

Formulación de pellets.		
Combinación de pellets	Palma de guano	Caña flecha
Combinación 1	100%	0%
Combinación 2	0%	100%

3.5. DETERMINACION DE PODER CALORIFICO DE PELLETS

Nuevamente, se empleó la bomba calorimétrica sólo que esta vez, para determinar el poder calorífico de los pellets de acuerdo al punto 3.4. con excepción de que no se realizó un triplicado sino un quintuplicado.

3.6. ANALISIS TERMOGRAVIMETRICO

Las muestras se analizaron en un Analizador termogravimétrico Perkin-Elmer TGS-7. Las muestras se mantuvieron en 10 mg. Las muestras se calentaron desde temperatura ambiente hasta 800 °C a una velocidad de calentamiento constante de 10 °C/min utilizando una atmósfera de nitrógeno y un caudal de 20 ml/min.

3.7. CONTENIDO ELEMENTAL: CARBONO (C), NITRÓGENO (N), HIDRÓGENO (H) Y AZUFRE (S) TOTAL

El análisis elemental de N, C, H y S, se llevó a cabo empleando un Analizador Elemental Flash 2000 que está basado en la combustión total de la muestra seguida de una reducción, captura y completa separación y detección de los productos por un detector de conductividad térmica o TCD (Carlo Erba 1968). Las señales eléctricas generadas por el detector son procesadas por la plataforma Eager Xperience, que provee la cuantificación del porcentaje total a partir del uso de estándares de calibración con concentraciones distintas para cada elemento. En la combustión de la muestra los compuestos tanto orgánicos como inorgánicos son convertidos a gases elementales, que después son separados y detectados en un sistema integrado por una columna cromatográfica y un detector con alta sensibilidad (hasta 100 ppm para cada elemento) que lo hace más preciso, evitando hacer ajustes que podrían introducir desviaciones o errores en la determinación.

3.8. ÍNDICE DE FRIABILIDAD

La friabilidad es la facilidad que tiene un material para poder ser desmoronado o desmenuzado. Es una variable muy importante en los pellets que se están manipulando continuamente y chocando unos con otros (Camps et al., 2008). Para calcular la friabilidad se utilizaron 100 pellets por cada tratamiento, los pellets se dejaron caer de una altura de 1 metro, una vez que el material se impactó en el suelo firme se contabilizaron los fragmentos generados por cada pellet y así obtener un índice de friabilidad FR₁.

Para calcular el índice FR₁ se utiliza la fórmula siguiente:

$$[FR]_1 = \frac{NF}{N} \quad (4)$$

Donde:

FR₁ = Índice de friabilidad

NF = Número de pellets al final del ensayo

NI = Número de pellets después al inicio del ensayo

3.9. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS (PELLETS)

Con el fin de evaluar el campo de uso de los biocombustibles sólidos, con base a estándares internacionales se empleó la norma UNE-EN ISO 17225-2:2014. Dicha norma involucra la evaluación de propiedades tales como: diámetro, longitud, humedad, cenizas, poder calorífico, etc. La tabla 5 resume el conjunto de propiedades consideradas para evaluar la calidad de los pellets.

Tabla 5. Propiedades consideradas para la calidad de los pellets de acuerdo con UNE-EN ISO 17225-2:2014

Propiedad	Unidad
Diámetro y longitud	mm
Humedad	%
Cenizas	%
Durabilidad mecánica	%
Finos	%
Aditivos	%
Poder calorífico	MJ/kg o kWh/kg
Densidad a granel	Kg/m ³
Composición elemental	%

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan el análisis y la discusión de los resultados obtenidos relacionados a la caracterización de las materias primas y a los pellets elaborados a partir de las mismas.

4.1. CARACTERIZACIÓN PROXIMAL DE LA BIOMASA

De manera inicial, las propiedades proximales y energéticas de las materias primas utilizadas se muestran en la tabla 7.

Tabla 6. Propiedades proximales y energéticas de las fibras vegetales residuales

Propiedades proximales y energéticas de la materia prima empleada					
Formulaciones (Materias primas)		Propiedades proximales			Propiedades energéticas
Palma de Guano	Caña Flecha	Humedad	Cenizas (%)	Volátiles	Poder calorífico (MJ/Kg)
100%	0%	1.62 ± 0.28	5.06 ± 0.91	97.08 ± 0.15	16641 ± 38.07
80%	20%	0.88 ± 0.10	4.99 ± 0.05	94.62 ± 0.48	15459.6 ± 29.96
60%	40%	1.32 ± 0.08	4.99 ± 0.28	96.47 ± 1.39	14964.3 ± 63.09
50%	50%	2.67 ± 0.15	5.63 ± 0.19	96.17 ± 1.40	15107.3 ± 11.00
40%	60%	2.69 ± 0.17	6.20 ± 0.17	94.64 ± 0.27	14476.6 ± 14.02
20%	80%	0.93 ± 0.01	6.56 ± 0.08	94.23 ± 0.52	14935.3 ± 71.64
0%	100%	4.35 ± 3.23	12.29 ± 0.36	93.17 ± 0.15	14362 ± 14.23

En la tabla 5. se puede observar que la muestra de 100% caña flecha en lo que respecta a las propiedades proximales cuenta con el mayor porcentaje de humedad,

con el mayor porcentaje de cenizas y con el menor porcentaje de volátiles, mientras que respecto a las propiedades energéticas cuenta con un bajo poder calorífico.

Las muestras de 100% palma de guano, en las propiedades proximales presentan menos humedad y un porcentaje más alto en cenizas y volátiles y en las propiedades energéticas un poder alto poder calorífico en comparación con las muestras de caña flecha.

En las combinaciones, la muestra que tuvo menor porcentaje de humedad y de cenizas fue la combinación 80% palma de guano y 20% caña flecha, con un porcentaje menor de volátiles y poder calorífico en comparación a la muestra de 100% palma de guano. La muestra que obtuvo otro alto porcentaje de humedad fue la combinación 40% palma de guano y 60% caña flecha, además de contener un poder calorífico algo bajo. La muestra con la combinación 50% palma de guano y 50% caña flecha, obtuvo un porcentaje de humedad casi igual a la combinación 40% palma de guano y 60% caña flecha, con diferencias en el porcentaje de ceniza y porcentaje de volátiles, y obteniendo un poder calorífico mayor a dicha muestra. La muestra con la combinación 20% palma de guano y 80% caña flecha obtuvo un porcentaje bajo de humedad, sin embargo, tuvo un porcentaje alto en cenizas y un bajo poder calorífico.

Debido a que las combinaciones de muestras no presentaron buenos resultados, en comparación a las muestras de 100% palma de guano y 100% caña flecha, se decidió no llevar a cabo el proceso de pelletizado de las mismas.

Las muestras que contienen las combinaciones con un mayor porcentaje de palma de guano son las que obtuvieron mejores resultados tanto en las propiedades proximales, como en las propiedades energéticas.

4.2. PROPIEDADES PROXIMALES Y ENERGÉTICAS DE LOS PELLETS DE FIBRAS VEGETALES

La tabla 8 nos presenta las propiedades energéticas de los pellets obtenidos, resalta el contenido inicial de las propiedades importantes en la caña flecha y la palma de guano, un factor a considerar a la hora de pelletizar.

Tabla 7. Propiedades proximales y energéticas de los pellets

Propiedades proximales y energéticas de los pellets de fibras vegetales					
Formulaciones (Pellets)		Propiedades proximales			Propiedades energéticas
Materia prima		Humedad	Cenizas (%)	Volátiles	Poder calorífico (MJ/Kg)
Palma de Guano	100%	0.85 ± 0.08	1.27 ± 0.64	96.71 ± 0.14	18347.2 ± 31.66
Caña Flecha	100%	5.24 ± 1.37	12.29 ± 0.36	97.05 ± 0.24	16285.8 ± 83.00



Figura 16. Pellets de palma de guano



Figura 17. Pellets de caña flecha

Los pellets elaborados con 100% palma de guano presentaron mejores resultados de propiedades proximales y energéticas, ya que se observa que a mayor cantidad de cenizas menor poder calorífico en comparación a los pellets elaborados con 100% caña flecha.

La calidad de los pellets está ligada a las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la biomasa y a las variables del proceso de pelletizado, como pueden ser la temperatura, la presión, etc; los pellets deben tener un bajo contenido de humedad, ya que altos niveles de humedad provocan que la combustión evapore el agua que se encuentre en el pellet, a diferencia de un pellet con bajo contenido de humedad, donde existe un mejor gradiente temperatura y transferencia de calor, además de completar la combustión y tiempos de residencias más cortos (Montero et al, 2015).

Tabla 8. Análisis mecánico de los pellets

Materia prima	Dimensiones (mm)		Densidad (g/cm ³)	Índice de friabilidad
	Longitud	Diámetro		
Palma de 100%	22.6	5.7	0.88Kg/ cm ³	90%
Guano				
Caña Flecha 100%	22.8	5.7	0.31Kg/cm ³	100%

Con relación a la densidad hay que resaltar que los pellets más densos son los de guano. En relación a la friabilidad, si bien este parámetro es inferior en guano, ambos pellets presentan alta friabilidad.

Para elaborar pellets el contenido de humedad es un factor importante ya que influye en los parámetros de los mismos, como lo son en la masa, la densidad y principalmente en el poder calorífico (pintor – Ibarra et, al. 2023).

Tabla 9. comparación de los parámetros obtenidos versus la norma austriaca para pellets (ÖNORM M7135)

Criterio	Unidad	ÖNORM M7135)	Resultados de las pruebas	
			Palma de guano	Caña flecha
Diámetro	mm	4-10	5.7	5.7
Longitud	mm	<5*d	22.6	22.8
Peso	g	-	-	-
Poder calorífico	MJ/Kg	18	18	16
Densidad	Kg/m³	>600	0.88Kg/m ³	0.308Kg/m ³
Contenido de cenizas	%	0.5	1.27	5.24
Contenido de humedad	%	<10	0.85	2.15

La humedad es la cantidad de agua libre que contiene el combustible (Fernández et al., 2015). De acuerdo con la norma austriaca (ÖNORM M7135) los pellets deben contar con un porcentaje de humedad menor al 10%; los pellets analizados presentaron un contenido de humedad menor al 6%.

Respecto al porcentaje de cenizas es variado, en muestras de pellets el intervalo es del 0.5% a 6.5% (pintor – Ibarra et, al. 2023), la norma austriaca considera un intervalo del 0.5% por lo que los pellets de ambas muestras no son compatibles con dicha norma, sobre todo los pellets de caña flecha, ya que obtuvieron un porcentaje de cenizas alto, por lo que no cumplen con las especificaciones.

En lo que respecta al poder calorífico, la norma austriaca menciona que los pellets deben contener un poder calorífico de 18 MJ/Kg, los pellets de palma de guano cumplen con la norma, mientras que los pellets de caña flecha no cumplen con el requisito, ya que tienen un poder calorífico de 16 MJ/Kg.

4.3. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

El análisis termogravimétrico es una técnica analítica ampliamente utilizada para entender cómo se degrada un material en función de la temperatura, en este sentido se utilizó dicho análisis para comprender como ocurre la descomposición tanto de los pellets como de la materia prima al ser sometidos a un proceso de degradación controlada.

Las muestras de palma de guano y caña flecha se analizaron en un instrumento Analizador termogravimétrico Perkin-Elmer TGS-7 en una atmosfera inerte con gas nitrógeno a un caudal de 100 mL/min.

La figura 18 nos muestra los termogramas correspondientes a las muestras de biomasa residual inicial y los pellets obtenidos a partir de las fibras vegetales; las curvas representan las distintas etapas de degradación de la biomasa cuando es sometida a condiciones de temperatura controladas (30°C a 800°C) en una atmósfera inerte (nitrógeno); la primer etapa de descomposición de la biomasa comienza por la pérdida de humedad; donde biomasa comienza a perder la humedad al momento en que la temperatura va aumentando; seguida de una segunda etapa de degradación, donde continua la perdida de humedad y a la vez la pérdida de biomasa; en la tercer etapa de degradación se observa que al tener una temperatura cada vez más elevada la perdida de biomasa es considerable, quedando un porcentaje menor en comparación con el porcentaje de biomasa inicial.

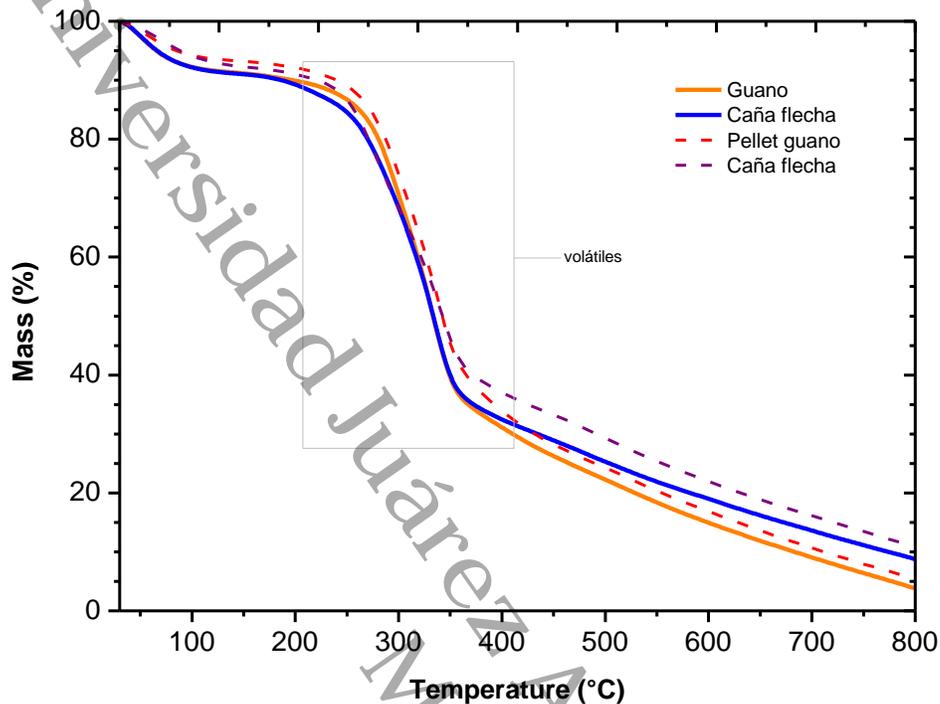


Figura 18. Termograma de la biomasa residual y los pellets elaborados a partir de fibras vegetales

En la figura 18 observamos que la degradación de humedad comienza con 93°C para caña flecha y 97°C para palma de guano, ambos como materia prima. Mientras que para los pellets es de 99°C de ambas muestras.

La curva más alta se encuentra a los 216°C para palma de guano y 212°C para caña flecha, ambos como materia prima; mientras que para los pellets es de 220°C para palma de guano y 217°C para caña flecha.

La fracción de la materia orgánica se descompone por acción de la temperatura. El aumento de temperatura permite que la fracción de volátiles vaya aumentando, hasta el punto de convertirse en carbón pirolítico. No se presentan diferencias significativas en ambas materias primas.

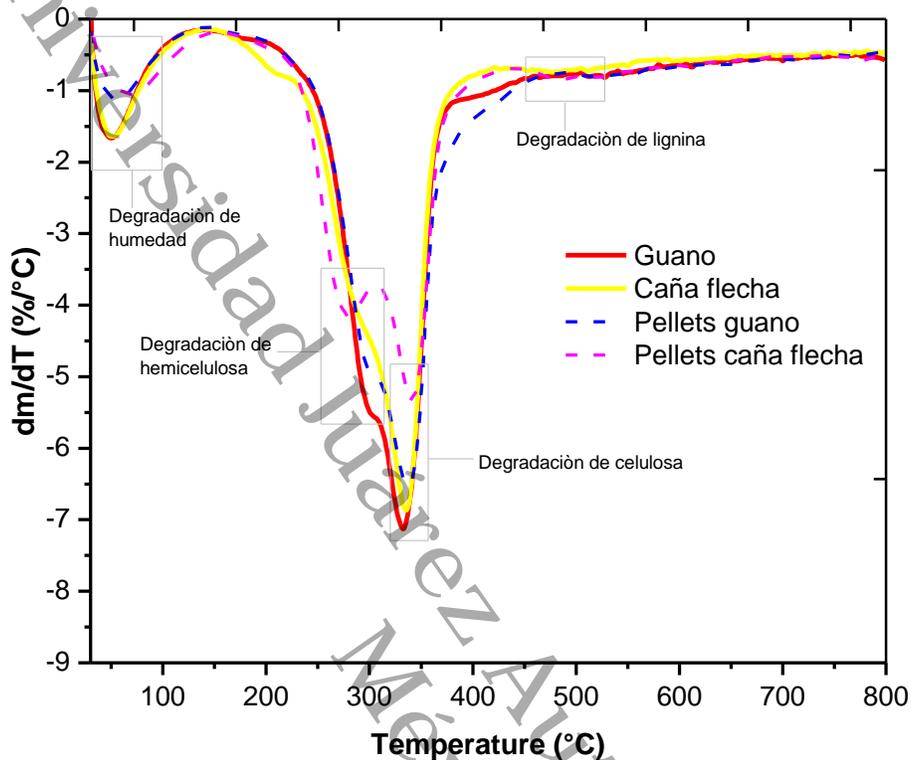


Figura 19. Derivada del termograma de la biomasa residual y los pellets elaborados a partir de fibras vegetales

Las fibras vegetales son materiales lignocelulósicos con características químicas, físicas y mecánicas que les brindan resistencia, flexibilidad y durabilidad, contienen componentes como celulosa, la cual es un material no fermentable y que es el polímero más abundante en la naturaleza, y la lignina, por lo que es importante saber aprovechar estos materiales (Sandoval, 2016; CONABIO, 2020). Los pellets de biomasa vegetal están constituidos por tres componentes de la pared celular, los cuales son: la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (Wiebren de Jong et al, 2015).

La derivada del termograma (figura 19) nos permite observar de manera más detallada las etapas de degradación de la biomasa y los pellets procesados. En dicha derivada se observa una diferencia entre la materia prima procesada y los pellets.

La primera etapa corresponde al pico de la pérdida de humedad, la cual ocurre a los 48°C para palma de guano, a 50°C para caña flecha ambos como materia prima, a 53°C para pellets de palma de guano y 60°C para pellets de caña flecha.

La segunda etapa corresponde al pico de la degradación de la hemicelulosa, la cual ocurre a los 300°C para palma de guano, a 290°C para caña flecha, ambos como materia prima; a 303°C para pellets de palma de guano y 277°C para pellets de caña flecha. La hemicelulosa tiene un nivel de degradación menor a la celulosa, debido a que tiene enlaces intermoleculares menos estables, tanto termoquímicamente como bioquímicamente (Wiebren de Jong et al, 2015).

La tercera etapa corresponde al pico de la degradación de celulosa, la cual ocurre a los 332°C para palma de guano, a 335°C para caña flecha, ambos como materia prima; a 337°C para pellets de palma de guano y a 341°C para pellets de caña flecha. La celulosa contiene una estructura supermolecular cristalina la cual le permite tener una alta estabilidad frente a la degradación térmica ((Wiebren de Jong et al, 2015).

La última etapa corresponde al pico de la degradación de la lignina, la cual ocurre a los 465°C para palma de guano, a 461°C para caña flecha, ambos como materia prima; a 512°C para pellets de palma de guano y 508°C para pellets de caña flecha. La lignina contiene resistencia mecánica, tiene un alto poder calorífico, además es relativamente resistente en la conversión térmica, por lo que es la parte con menor degradación (Wiebren de Jong et al, 2015).

4.4. ANÁLISIS ELEMENTAL: CARBONO (C), NITRÓGENO (N), HIDRÓGENO (H) Y AZUFRE (S) TOTAL

La tabla 10 nos muestra el contenido elemental de las diferentes formulaciones de pellets obtenidos a partir de fibras vegetales como palma de guano, caña flecha y combinaciones de estos. Resalta que la mayoría de las muestras poseen un alto contenido de carbono por tratarse de materiales orgánicos superando el 40% del contenido elemental total; otro elemento presente dentro de nuestras muestras es el hidrogeno en proporciones menores al 7% seguido del nitrógeno y finalmente pequeñas trazas de azufre que por el alcance del equipo no fueron detectados.

Tabla 10. Contenido elemental de los pellets de fibras vegetales

Muestra	Nitrógeno	Carbono (%)	Hidrógeno	Azufre
100% Palma de Guano	1.15±0.10	45.22±0.23	6.39±0.06	0.07±0.01
100% Caña Flecha	1.19±0.00	41.38±0.08	6.32±0.15	ND
Pellets Palma de Guano	0.18±0.02	48.47±0.44	7.06±0.03	ND
Pellets Caña Flecha	0.97±0.00	50.89±0.99	7.60±0.13	ND

*ND: No detectado

De acuerdo con Demirbas (2004) el porcentaje de nitrógeno de los pellets de palma de guano es menor en comparación de los pellets elaborados de madera de abeto, paja de trigo, rastrojo de maíz, cáscara de avellana, cáscara de almendra y cáscara

de nuez, mientras que los pellets de caña flecha tienen menor porcentaje de nitrógeno en comparación de los pellets elaborados de cáscara de avellana y cáscara de almendra. Mientras que de hidrogeno tienen porcentajes mayores a estos pellets.

Respecto al porcentaje de carbono y de azufre tanto de los pellets de palma de guano como los pellets de caña flecha contienen un porcentaje de carbono similar a los pellets elaborados de madera de abeto, paja de trigo, rastrojo de maíz, cáscara de avellana, cáscara de almendra y cáscara de nuez; no se presentan porcentajes de contenido de azufre en los pellets, a excepción de los pellets de rastrojo de maíz.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

4.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS (PELLETS)

La calidad de los pellets elaborados a partir de residuos de fibras vegetales se determinó con base a las propiedades de la norma UNE-EN ISO 17225-2:2014 (tabla 11). Los resultados muestran que la calidad final de los pellets corresponde a la clase A2, la cual los clasifica para aplicaciones comerciales y residenciales.

En la tabla 11 se muestra la comparativa entre los valores de referencia de calidad de los pellets de acuerdo con la norma española y los valores obtenidos en los pellets de palma de guano y caña flecha.

Tabla 11. Comparativa de los valores de referencia de UNE-EN ISO 17225-2:2014 con los obtenidos en esta investigación

	Valor de referencia	Valor obtenido
Diámetro (mm)	6 ± 1	5.7
Longitud (mm)	$3.15 < L < 40$	22.7
Humedad (%)	< 10	1.50
Cenizas (%)	< 0.7	3.25
Poder calorífico (kJ/kg)	16500	17316.5
Composición elemental (%)	$N < 0.3, S < 0.04$	$N 0.5, S 0$

CONCLUSIONES

Se determinó que las muestras de fibras vegetales residuales provenientes de las especies estudiadas *Sabal yapa* C. Wright (Palma de Guano) y *Gynerium sagittatum* (Caña flecha) tienen propiedades fisicoquímicas y energéticas para ser empleadas como bioenergéticos, que en términos generales poseen alto contenido calorífico (>16 MJ/kg), un parámetro energético apto y deseable para la elaboración de biocombustibles sólidos (pellets de biomasa).

Con respecto a la cuantificación de la biomasa residual que se genera y su factibilidad de aprovechamiento, se estimó que del proceso artesanal se produce menos del 15% de material (puntas y hojas), de lo cual también se extrae solo un porcentaje para ser utilizado en la elaboración de pellets. Por lo que su aprovechamiento, está limitado por su generación, disponibilidad e intermitencia.

Con relación a sus características proximales y energéticas los biocombustibles sólidos obtenidos a partir de las fibras vegetales muestran propiedades por arriba de otros pellets de biomasa comerciales, resaltando el incremento de su densidad energética y sus propiedades mecánicas, tales como la friabilidad (cercano al 1).

Los biocombustibles sólidos obtenidos cumplen con la calidad final de los pellets establecidos en la Norma Internacional UNE-EN ISO 17225-2:2014, lo que permite catalogarlos como calidad A2 para aplicaciones comerciales y residenciales.

Finalmente, a través de esta investigación se puso en evidencia la importancia de valorar residuos que se generan a escala local y que pueden regresar al sistema a través de un enfoque de economía circular como un energético capaz de complementar o diversificar el uso generalizado de la leña.

PERSPECTIVAS

- Profundizar en el estudio de la caracterización de la biomasa realizando análisis estructural y de desempeño energético de los pellets.
- Realizar pruebas de combustión de los pellets en sistemas energéticos adecuados.
- Promover una campaña de concientización ambiental relacionada a la biomasa.

México.

LITERATURA CITADA

Alejandro Rendón y Lucila Neyra (2020). CONABIO. Fibras naturales <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>

Alves, M. C., Oliveira Júnior, A. M. D., & Bonfim, C. N. C. (2022). Desenvolvimento de pellet ecossustentável a partir da casca de coco verde. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 9(22), 1029-1042.

Anónimo 2009). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Mexico, DF. 17,18, 37, 38, p.

Aragón-Garita, S., Moya, R., Bond, B., Valaert, J., & Tomazello Filho, M. (2016). Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 87, 84-95.

Barroso León, T. S. (2018). Elaboración de Pellets a partir de cáscara de pecana como combustible bioenergético-Cañete-2018.

Brassesco, R. F. (2021). *Pellets de alfalfa deshidratada "PAD" como especialidad* (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).

Bringezu, S.: Reciclaje de carbono para materiales renovables y suministro de energía. *J. Ind. Ecol.* (2014). doi:10.1111/jiec.12099

Caballero Nieto J., Martínez A.; Gama V. (2002). El uso y manejo tradicional de la palma de guano en el área maya de Yucatán. *Biodiversitas*. Boletín bimestral de la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/biodiver39.pdf

Calderón, C.; Colla, M.; Jossart, J.-M.; Hemeleers, N.; Cancian, G.; Aveni, N.; Caferri, C. Bioenergy Europe, Informe estadístico sobre pellet. En Actas de la Conferencia y Exposición Europea de Biomasa, Estocolmo, Suecia, del 12 al 15 de junio de 2017.

Carlos Alberto García Bustamante & Omar Masera Cerutti (2016). ESTADO DEL ARTE DE LA BIOENERGÍA EN MÉXICO. Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt. <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf>

Daioglou, V., Wicke, B., Faaij, A.P., Vuuren, D.P.: Competing uses of biomass for energy and chemicals: implications for long-term global CO₂ mitigation potential. GCB Bioenergía (2015). doi:10.1111/gcbb.12228

Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science, 30(2), 219–230. doi:10.1016/j.pecs.2003.10.004

Energy Reports, Volume 6, 2020, Pages 2627-2640, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.017>.

Fernández-Puratich, Harald, Oliver-Villanueva, José Vicente, Valiente, Mireya, Verdú, Salvador, & Albert, Nuria. (2014). Desarrollo de pellets a partir de tres especies leñosas bajo condiciones mediterráneas. Madera y bosques, 20(3), 97-111. Recuperado en 26 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300009&lng=es&tlng=es.

Fernando Israel Gómez-Castro, Claudia Gutiérrez-Antonio, Salvador Hernández, Carolina Conde-Mejía, Antioco López-Molina, Ricardo Morales-Rodríguez (2019). ISSN: 2395-8847 | PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN MÉXICO. PARTE 1. MATERIAS PRIMAS. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/30/37>

Fernández González, Jesús, Gutierrez Martin, Fernando, Del Rio González, Pablo, San Miguel Alfaro, Guillermo, Bahillo Ruiz, Alberto, Sanchez Hervas, Jose Maria, Ballesteros Perdices, Mercedes, Vazquez Minguela, Jesús Ángel, Rodriguez Anton, Luis Miguel, Aracil Mira, José. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Pág. 115.

García-Ubaque, César A, Vaca-Bohórquez, Martha L, & Talero, Gabriel F. (2013). Use of Pelleted Biomass in the Brick Industry in Bogota-Colombia: Energy and Environmental Analysis. *Información tecnológica*, 24(3), 115-120. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300013>

Georgina Sandoval (2010). Biocombustibles avanzados en Mexico: Estado actual y perspectivas. Red mexicana de bioenergía, A.C. <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/CT2.pdf>

GLOBAL BIOENERGY STATISTICS REPORT 2023. <https://www.ier.unam.mx/~rbb/ERYS2013-1/Biomasa/La-bioenergia-en-Mexico.pdf>

Islas Sampeiro J & Martínez Jiménez A. (2010) Ciencia: Revista Ciencia: Bioenergía. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf

Jesús Andrés Romero García, Juan José Arenas Romero, Jesús García Lira, Martín Darío Castillo Sánchez. Los Biocombustibles en México: El Futuro Energético. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica AÑO 3. No. 3. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2018 – AGOSTO 2019. IE-09, pág.: 1 a la 5. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/CongresoCiTec/Memorias_Congreso/Anio3_No3/Extensos/IE-09.pdf

Luis Fernando Pintor-Ibarra, Fernando Daniel Méndez-Zetina, José Guadalupe Rutiaga-Quñones, José Juan Alvarado-Flores (2023). Capítulo 5: Caracterización proximal de los biocombustibles sólidos. <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Caracterizaci%C3%B3n%20proximal%20de%20os%20biocombustibles%20s%C3%B3lidos.pdf>

Manuel Camps Michelena & Francisco Marcos Martín (2008). Energías renovables. Los biocombustibles 2da edición. Pág.146, 147.

Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007). Mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Miranda, T.; Montero, I.; Sepúlveda, FJ; Arranz, JI; Rojas, CV; Nogales, S. Una revisión de pellets de diferentes fuentes. *Materiales* 2015 , 8 , 1413-1427. <https://doi.org/10.3390/ma8041413>

Muñoz, M. (2017). Producción de pellets combustibles a partir de residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar.

Picchio, R., Latterini, F., Venanzi, R., Stefanoni, W., Suardi, A., Tocci, D., & Pari, L. (2020). Pellet Production from Woody and Non-Woody Feedstocks: A Review on Biomass Quality Evaluation. *Energies*, 13(11), 2937. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13112937>

Pinto Acuña, A., & Sifuentes Quevedo, M. A. (2021). Estudio de prefactibilidad para la elaboración de una planta de producción de pellets compostables a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

Ramírez Pinzón, F. C., & Riaño Galán, Y. F. (2022). *Propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Red Mexicana de Bioenergía (2024). Biocombustibles sólidos. <https://rembio.org.mx/biocombustibles-solidos/#1684874064500-37e438ee-51c0>

Sánchez, J.; Curt, MD; Sanz, M.; Fernández, J. Una propuesta para la producción de pellets a partir de biomasa leñosa residual en la isla de Mallorca (España). *AIMS Energy* 2015 , 3 , 480. [Google Scholar] [CrossRef] [Versión verde]

Santiago Vignote Peña (2016). LA BIOMASA, IMPORTANCIA, CARACTERÍSTICAS Y FORMAS DE PREPARACIÓN. https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-Importancia-tipos-y-caracteristicas-y-formas-de-preparacion.pdf

Soltero Víctor M., M Lidia Román, Peralta Estela, Chacartegui Ricardo, Sustainable biomass pellets using trunk wood from olive groves at the end of their life cycle, Energy Reports, Volume 6, 2020, Pages 2627-2640, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.017>.

Stephanie Aragón-Garita, Roger Moya, Brian Bond, Jorre Valaert, Mario Tomazello Filho, Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica, Biomass and Bioenergy, Volume 87, 2016, Pages 84-95, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.006>.

Tauro, R., García, C. A., Skutsch, M., & Maser, O. (2018). The potential for sustainable biomass pellets in Mexico: An analysis of energy potential, logistic costs and market demand. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 380–389. doi:10.1016/j.rser.2017.09.036

Valdés-Rodríguez, O.A. & Palacios-Wassenaar, O.M. (2026). EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE PLANTACIONES PARA BIOCOMBUSTIBLES: PERSPECTIVAS Y RETOS PARA MÉXICO. Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 2 <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/718/587>

Vinces Guillén, R., & Poggi Dávila, J. (2014). Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. Saber Y Hacer, 1(2), 88–123. Recuperado a partir de <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/12>

Wiebren De Jong (2015). Biomass as a Sustainable Energy Source for the Future: Fundamentals of Conversion Processes, First Edition.

ANEXOS



Sociedad Mexicana
de Materiales A.C.

Mexico City, May 6th, 2024

Liliana Pampillón-González
División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Mexico

I am pleased to inform you that your contribution "**ASSESSMENT OF VEGETAL FIBERS RESIDUES DERIVED FROM HANDCRAFT PRODUCTION IN TABASCO MEXICO FOR SOLID BIOFUEL PRODUCTION**" by *Liliana Pampillón-González, Johannes Cornelis Van Der Wal, Javier Ek-Pérez, Isabel Burgos-Olán, Nancy Gonzalez Canche*, has been **accepted** in symposium **B4, Materials and the Environment (LEGACY)** at the 32nd International Materials Research Congress, to be held in Cancun, Mexico in August 18 - 23, 2024.

The presentation has been accepted in the **Poster Presentation** modality. Remember that in order to include your abstract in the congress program you must confirm your participation no later than June 14, 2024 by choosing the modality you will present your abstract(s); you can do this from your IMRC account.

Organizers of the Symposium
"Materials and the Environment (LEGACY)"

**Rosendo López González, Eddie Lopez Honorato, Lorena Julieta Barrientos Poblete,
Karen Esquivel Escalante**

Carta de aceptación al congreso internacional de materiales



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIOS EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

SECRETARÍA
DE INVESTIGACIÓN,
POSGRADO Y
VINCULACIÓN



Otorga la presente

CONSTANCIA

A la: Est. Diana Isabel Burgos Olán

Por su participación en el **Programa de Difusión y Divulgación Científica de la UJAT** con el tema **"Biocombustibles sólidos elaborados a partir de residuos Biomásicos de carpintería y fibras vegetales"**, con una duración de 5 horas.



Dr. Pablo Marín Olán
Director de Difusión y Divulgación Científica
y Tecnológica

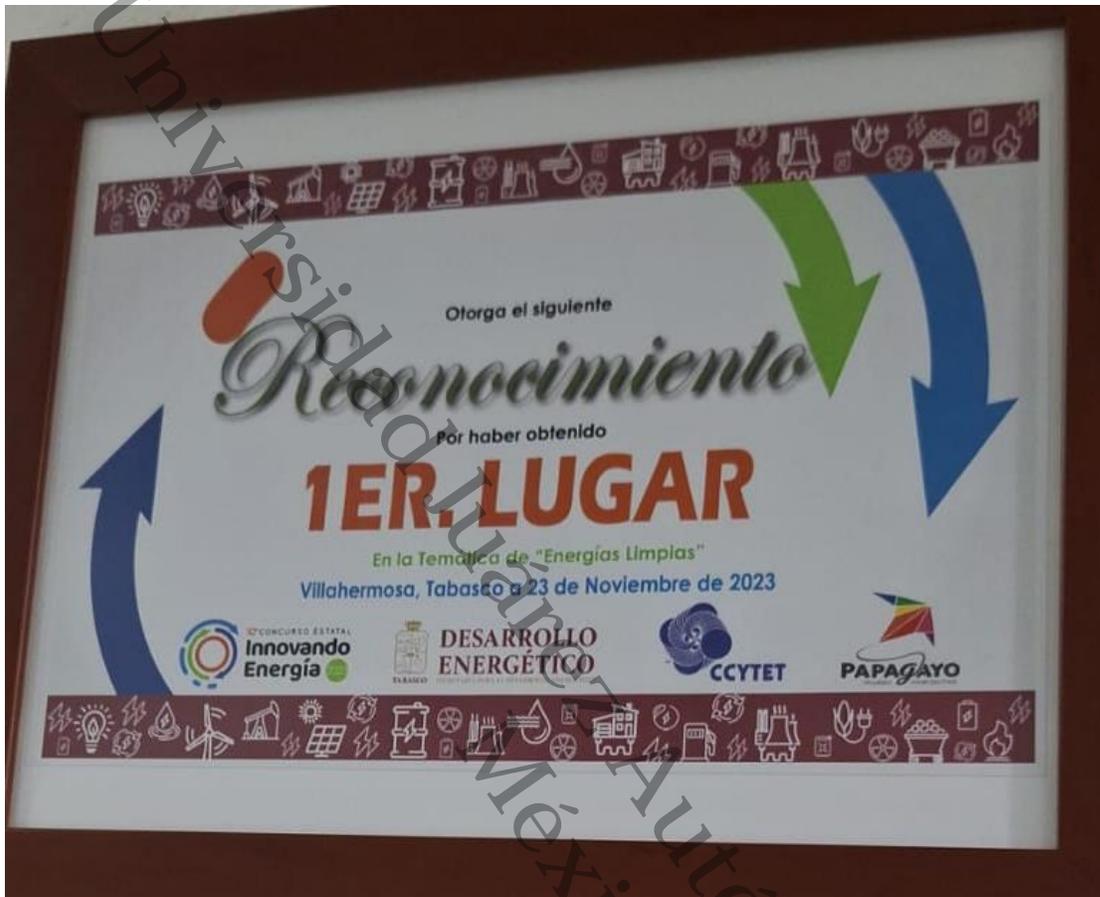
Villahermosa, Tabasco a 07 de febrero 2024



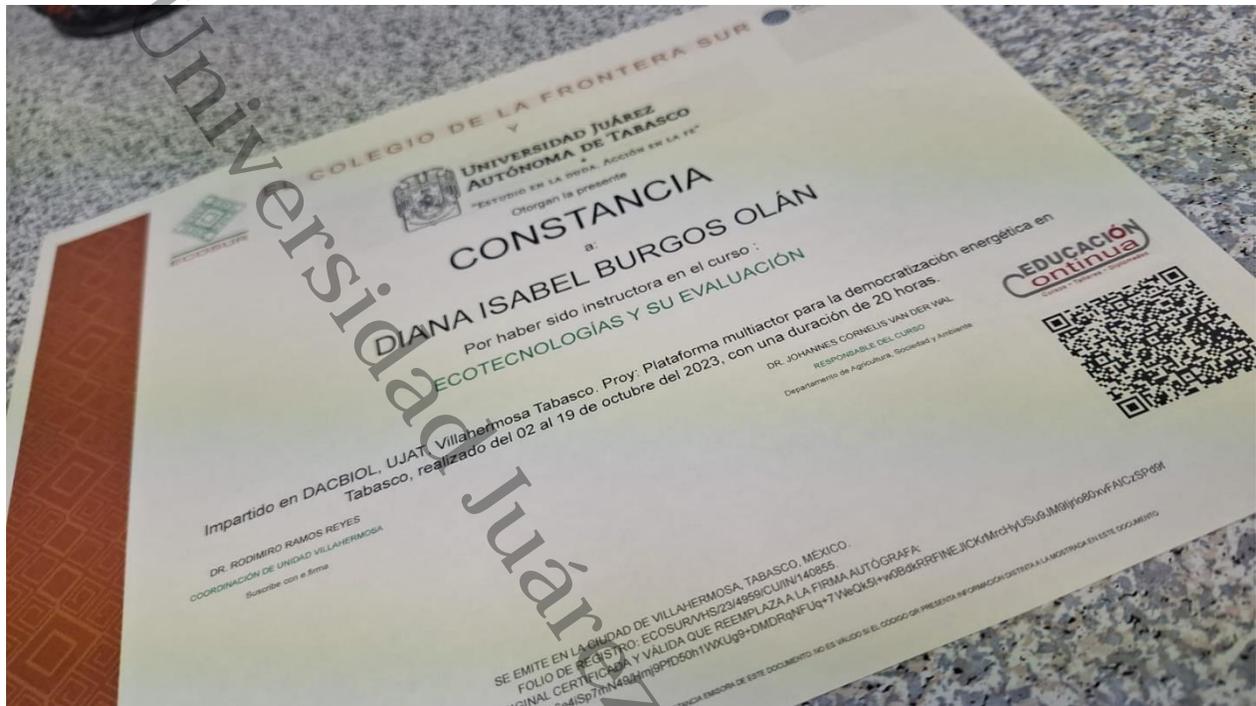
"Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación. Sistema de Gestión de Calidad, certificado por American Trust Registrar, S.C.", Alcance de Certificación (Visión al Mejoramiento Continuo), Norma de certificación: ATR 0742 en base a (norma de referencia: ISO 9001:2015), Alcance de Certificación: (11 de julio de 2022).



Participación en el programa de difusión y divulgación científica de la UJAT



Primer lugar en el lugar innovando energía



Impartición de cursos y talleres de biomasa



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIOS EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

SECRETARÍA
DE INVESTIGACIÓN,
POSGRADO Y
VINCULACIÓN



Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Diana Isabel Burgos Olán

Por haber participado en el Tercer Congreso de Resultados y Productos del XIX Verano de la Investigación Científica UJAT en el área de conocimiento: Ingenierías y Desarrollo Tecnológico asesorada por la Dra. Liliana Pampillón González y la Dra. Nancy Guadalupe González Canché, realizado a través del Aula Virtual UJAT plataforma Microsoft Teams, los días 27, 28 y 29 de septiembre de 2023.



El VC: 361CONGRESO-2023-0234

Dra. Karina Pérez Hernández

Directora de Investigación
SIPyV UJAT

Villahermosa, Tabasco a 29 de septiembre de 2023.



"Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación, Sistema de Gestión de Calidad certificado por American Trust Register, S.C.", Alcanza de Certificación (Véase en el Manual de Calidad), Número de certificado ATR 0742 en línea a (número de referencia ANE-CC-3014-AMNC-2023 Vigencia) Certificación (11 de julio de 2020)



Participación del tercer congreso de resultados y productos del XIX verano de la investigación científica UJAT con el tema de biomasa

Anexo 7

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	CARACTERIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS ELABORADOS CON RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES DERIVADOS DE ARTESANIAS EN TABASCO
Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:	Diana Isabel Burgos Olán
ORCID:	https://orcid.org/0009-0009-6376-5741
Resumen de la Tesis:	<p>Debido a la escasez de combustibles fósiles se ha implementado la búsqueda de tecnologías sostenibles con base a la utilización de materias primas renovables. Una de las tecnologías implementadas recientemente para la producción de energía es el uso de la biomasa densificada y estandarizada, conocida como biocombustible sólido o pellet, el cual contiene una mayor densidad energética en comparación a otros combustibles.</p> <p>Es por esto que, en este trabajo a través de la utilización de biomasa residual vegetal de caña flecha (<i>Gynerium sagittatum</i>) y palma de guano (<i>Sabal yapa</i> C. Wright) se busca obtener un biocombustible sólido que cumpla con las especificaciones para ser considerado un bioenergético.</p> <p>Se realizó la recolección de la biomasa, así como su pretratamiento. posteriormente, tanto a las muestras de la biomasa, como a los pellets se les realizaron análisis proximales en el horno de secado y la mufla, análisis energéticos en la bomba calorimétrica, análisis mecánicos a través de la medición de longitud, densidad e índice de friabilidad, análisis elemental termogravimétricos.</p> <p>Los resultados muestran que los pellets de palma de guano tienen un poder calorífico adecuado y cumplen con varios parámetros de acuerdo a la normatividad, a</p>

	<p>diferencia de los pellets de caña flecha, los cuales no cumplen ciertos parámetros esperados. Se destaca el potencial de valorización de residuos locales para su integración en una economía circular, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y mitigando emisiones de gases de efecto invernadero.</p>
<p>Palabras claves de la Tesis:</p>	<p>Pellets, guano, caña flecha, biomasa, fibras vegetales, artesanías.</p>
<p>Referencias citadas:</p>	<p>Alejandro Rendón y Lucila Neyra (2020). CONABIO. Fibras naturales https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales</p> <p>Alves, M. C., Oliveira Junior, A. M. D., & Bonfim, C. N. C. (2022). Desenvolvimento de pellet ecossustentável a partir da casca de coco verde. Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade, 9(22), 1029-1042.</p> <p>Anónimo (2009). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Mexico, DF. 17, 18, 37, 38, p.</p> <p>Aragón-Garita, S., Moya, R., Bond, B., Valaert, J., & Tomazello Filho, M. (2016). Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica. Biomass and Bioenergy, 87, 84-95.</p> <p>Barroso León, T. S. (2018). Elaboración de Pellets a partir de cáscara de pecana como combustible bioenergético-Cañete-2018.</p> <p>Brassesco, R. F. (2021). Pellets de alfalfa deshidratada "PAD" como especialidad (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).</p> <p>Bringezu, S.: Reciclaje de carbono para materiales renovables y suministro de energía. J. Ind. Ecol. (2014). doi:10.1111/jiec.12099</p> <p>Caballero Nieto J., Martínez A.; Gama V. (2002). El uso y manejo tradicional de la palma de guano en el área maya de Yucatán. Biodiversitas. Boletín bimestral de la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/biodiver39.pdf</p> <p>Calderón, C.; Colla, M.; Jossart, J.-M.; Hemeleers, N.; Cancian, G.; Aveni, N.; Caferra, C. Bioenergy Europe,</p>

Informe estadístico sobre pellet. En Actas de la Conferencia y Exposición Europea de Biomasa, Estocolmo, Suecia, del 12 al 15 de junio de 2017.

Carlos Alberto García Bustamante & Omar Masera Cerutti (2016). ESTADO DEL ARTE DE LA BIOENERGÍA EN MÉXICO. Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt. <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf>

Daioglou, V., Wicke, B., Faaij, A.P., Vuuren, D.P.: Competing uses of biomass for energy and chemicals: implications for long-term global CO2 mitigation potential. *GCB Bioenergía* (2015). doi:10.1111/gcbb.12228

Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219–230. doi:10.1016/j.pecs.2003.10.004

Energy Reports, Volume 6, 2020, Pages 2627-2640, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.017>.

Fernández-Puratich, Harald, Oliver-Villanueva, José Vicente, Valiente, Mireya, Verdú, Salvador, & Albert, Nuria. (2014). Desarrollo de pellets a partir de tres especies leñosas bajo condiciones mediterráneas. *Madera y bosques*, 20(3), 97-111. Recuperado en 26 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300009&lng=es&tlng=es.

Fernando Israel Gómez-Castro, Claudia Gutiérrez-Antonio, Salvador Hernández, Carolina Conde-Mejía, Antioco López-Molina, Ricardo Morales-Rodríguez (2019). ISSN: 2395-8847 | PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN MÉXICO. PARTE 1. MATERIAS PRIMAS. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/30/37>

Fernández González, Jesús, Gutierrez Martin, Fernando, Del Rio González, Pablo, San Miguel Alfaro, Guillermo, Bahillo Ruiz, Alberto, Sanchez Hervas, Jose Maria, Ballesteros Perdices, Mercedes, Vazquez Minguela, Jesús Ángel, Rodríguez Anton, Luis Miguel, Aracil Mira, José. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Pág. 115.

García-Ubaque, César A, Vaca-Bohórquez, Martha L, & Talero, Gabriel F. (2013). Use of Pelleted Biomass in the Brick Industry in Bogota-Colombia: Energy and Environmental Analysis. *Información tecnológica*, 24(3), 115-120. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300013>

Georgina Sandoval (2010). Biocombustibles avanzados en Mexico: Estado actual y perspectivas. Red mexicana de bioenergía, A.C. <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/CT2.pdf>

GLOBAL BIOENERGY STATISTICS REPORT 2023. <https://www.ier.unam.mx/~rbb/ERYs2013-1/Biomasa/La-bioenergia-en-Mexico.pdf>

Islas Sampeiro J & Martínez Jiménez A. (2010) Ciencia: Revista Ciencia: Bioenergía. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf

Jesús Andrés Romero García, Juan José Arenas Romero, Jesús García Lira, Martín Darío Castillo Sánchez. Los Biocombustibles en México: El Futuro Energético. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica AÑO 3. No. 3. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2018 – AGOSTO 2019. IE-09, pág: 1 a la 5. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/CongresoCiTec/Memorias_Congreso/Anio3_No3/Extensos/IE-09.pdf

Luis Fernando Pintor-Ibarra, Fernando Daniel Méndez-Zetina, José Guadalupe Rutiaga-Quifiones, José Juan Alvarado-Flores (2023). Capítulo 5: Caracterización proximal de los biocombustibles sólidos. <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Caracterizaci%C3%B3n%20proximal%20de%20los%20biocombustibles%20s%C3%B3lidos.pdf>

Manuel Camps Michelena & Francisco Marcos Martín (2008). Energías renovables. Los biocombustibles 2da edición. Pág.146, 147.

Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007). Mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Miranda, T.; Montero, I.; Sepúlveda, FJ; Arranz, JI; Rojas, CV; Nogales, S. Una revisión de pellets de diferentes fuentes. Materiales 2015 , 8 , 1413-1427. <https://doi.org/10.3390/ma8041413>

Muñoz, M. (2017). Producción de pellets combustibles a partir de residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar.

Picchio, R., Latterini, F., Venanzi, R., Stefanoni, W., Suardi, A., Tocci, D., & Pari, L. (2020). Pellet Production from Woody and Non-Woody Feedstocks: A Review on Biomass Quality Evaluation. Energies, 13(11), 2937. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13112937>

Pinto Acuña, A., & Sifuentes Quevedo, M. A. (2021).

Estudio de prefactibilidad para la elaboración de una planta de producción de pellets compostables a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

Ramírez Pinzón, F. C., & Riaño Galán, Y. F. (2022). Propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Red Mexicana de Bioenergía (2024). Biocombustibles sólidos. <https://rembio.org.mx/biocombustibles-solidos/#1684874064500-37e438ee-51c0>

Sánchez, J.; Curt, MD; Sanz, M.; Fernández, J. Una propuesta para la producción de pellets a partir de biomasa leñosa residual en la isla de Mallorca (España). *AIMS Energy* 2015 , 3 , 480. [Google Scholar] [CrossRef] [Versión verde]

Santiago Vignote Peña (2016). LA BIOMASA, IMPORTANCIA, CARACTERÍSTICAS Y FORMAS DE PREPARACIÓN. https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-Importancia-tipos-y-caracteristicas-y-formas-de-preparacion.pdf

Soltero Víctor M., M Lidia Román, Peralta Estela, Chacartegui Ricardo, Sustainable biomass pellets using trunk wood from olive groves at the end of their life cycle, *Energy Reports*, Volume 6, 2020, Pages 2627-2640, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.017>.

Stephanie Aragón-Garita, Roger Moya, Brian Bond, Jorre Valaert, Mario Tomazello Filho, Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica, *Biomass and Bioenergy*, Volume 87, 2016, Pages 84-95, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.006>.

Tauro, R., García, C. A., Skutsch, M., & Masera, O. (2018). The potential for sustainable biomass pellets in Mexico: An analysis of energy potential, logistic costs and market demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 380–389. doi:10.1016/j.rser.2017.09.036

Valdés-Rodríguez, O.A. & Palacios-Wassenaar, O.M. (2026). EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE PLANTACIONES PARA BIOCMBUSTIBLES: PERSPECTIVAS Y RETOS PARA MÉXICO. *Agroproductividad*: Vol. 9, Núm. 2 <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/718/587>

Vinces Guillén, R., & Poggi Dávila, J. (2014).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

	<p>Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. Saber Y Hacer, 1(2), 88–123. Recuperado a partir de https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/12</p> <p>Wiebren De Jong (2015). Biomass as a Sustainable Energy Source for the Future: Fundamentals of Conversion Processes, First Edition.</p>
--	---