

Caracterización Energética de Pellets a Base de Vena de Tabaco, Casulla de Arroz, y Olote de Maíz como Biocombustible

Resumen— En Honduras un tercio de la energía calórica consumida se obtiene mediante el uso de la leña, material usado desde los inicios de la humanidad para satisfacer necesidades como la calefacción durante épocas de frío y la cocción de alimentos. Particularmente en Honduras la leña se ha concebido como un combustible de fácil acceso para la población, lo que eventualmente está llevado a la escasez del mismo y también colabora en el deterioro de los ecosistemas forestales. Por otra parte, la robusta agroindustria nacional genera residuos en sus procesos productivos, los cuales de no ser tratados se convierten en una fuente de contaminación ambiental. Se estima que mensualmente se producen 75,000 toneladas de residuos agroindustriales y de esta cantidad el 80 % pueden ser utilizados con fines de producción energética como biomasa. En tal sentido es preciso generar soluciones para la correcta utilización de estos residuos, por tanto, en esta investigación caracterizado energética y físicamente pellets producidos a base de vena de tabaco, casulla de arroz, y olote de maíz con fines de generación de calor para uso doméstico e industrial. Los residuos antes mencionados tienen fácil disponibilidad y potencial prometedor. Los pellets que se fabricaron se sometieron a diversas pruebas para medir su calidad basándose en la norma ISO 17225-6 que hace referencia a los biocombustibles sólidos densificados de origen no leñoso. Durante la investigación se utilizó un Diseño Completo al Azar (DCA) y se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) para evaluar si existía diferencia estadística significativa entre cada pellet. Como parte de los resultados se enlistan el poder calorífico de los tres tipos de pelles y también el contenido de cenizas. Se espera que este estudio pueda ser usado por otros investigadores para que sirva de referencia en futuros trabajos investigativos, los residuos que se usaron durante la investigación son de bajo costo de adquisición con respecto a otros como el aserrín, por lo que resulta una interesante alternativa para poder innovar en la generación de energía limpia en Honduras.

Palabras claves: *Biocombustible, Honduras, Norma ISO 17225-6, Pellets, Poder calorífico.*

Abstract— In Honduras, a third of the caloric energy consumed is obtained through the use of firewood, a material used since the beginning of humanity to satisfy needs such as heating in cold weather and cooking food. Particularly in Honduras, firewood has been conceived as a fuel that is easily accessible to the population, which eventually leads to its shortage and also contributes to the deterioration of forest ecosystems. On the other hand, the robust national agro-industry generates waste in its

production processes, which if not treated will become a source of environmental contamination. It is estimated that 75,000 tons of agro-industrial waste are produced monthly and 80% of the total amount can be used for energy production purposes such as biomass. This is why we need to generate solutions for the correct use of these residues. Therefore, this investigation characterizes energetically and physically pellets produced from tobacco vein, rice chasuble, and corn cob in order to generate heat for domestic and industrial use. Waste previously disposed of has easy availability and promising potential. The pellets that were manufactured underwent various tests to measure their extreme quality in the ISO 17225-6 standard that refers to densified solid biofuels of non-woody origin. During the investigation, a Complete Random Design (DCA) was reduced and an Analysis of Variance (ANDEVA) was performed to evaluate if there was a significant statistical difference between each pellet. As part of the results, the calorific value and the ash content of the three types of pellets are shown. It is expected that this study can be used by other researchers to serve as a reference in future research work, the residues that were used during the investigation are of low acquisition cost with respect to others such as sawdust, so it is an interesting alternative that can help with the innovation of clean energy generation in Honduras.

Key Words: *Biofuel, Honduras, Pellets, ISO 17225-6 Standard, Calorific value.*

I. INTRODUCCIÓN

En Honduras, el recurso renovable de mayor consumo es la leña que principalmente es usada en el sector residencial para la cocción de alimentos. Este recurso biomásico representa el 56% de la matriz energética primaria del país [1], porcentaje que va en aumento aproximadamente a una tasa del 3% anual estimando un consumo de 11 millones de metros cúbicos al año [2]. Sin embargo, el uso de la leña es una problemática que amenaza las áreas forestales del país. La alta demanda de este recurso fomenta la tala de árboles no controlada el cual trae como consecuencia una mayor probabilidad de deslizamientos de tierra, reducción de la biodiversidad. También mencionar que el uso de la leña en espacios cerrados deteriora la salud de los consumidores debido la adsorción de las emisiones generadas por la combustión trayendo como consecuencia problemas respiratorios.

El gobierno de Honduras considera primordial el desarrollo de estrategias destinadas a la disminución de las emisiones ocasionadas por la combustión de la leña,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

considerándose incentivar el uso de la biomasa de una forma más innovadora para obtener tecnologías de combustión eficientes en el área residencial e industrial como una alternativa a la leña. Dentro de estas tecnologías se encuentran los pellets, que son biocombustibles sólidos densificados, homogéneos, de bajo contenido de humedad y con una mayor densidad energética en comparación a la leña [3].

Los pellets son empleados principalmente en países como: Finlandia, Noruega, Suecia, Dinamarca y Japón debido a la alta demanda de calefacción, pero en los últimos años se han evaluado en diferentes lugares del mundo con la finalidad de generar calor y electricidad. Puratich & Villanueva evalúan las propiedades físicas, químicas, y energéticas de pellets elaborados de una especie forestal *Quercus ilex*, un cultivo energético *Paulownia* y tres especies frutales *Citrus sinensis* (naranja), *Olea europea* (olivo), y *Prunus amygdalus* (almendro) bajo condiciones mediterráneas donde menciona que las muestras utilizadas están por encima de zonas boscosas utilizando una misma zona geográfica, climatología, y latitudes similares [4]. Treto & Solís analizan las propiedades térmicas y fisicoquímicas de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos de aserradero en Costa Rica [5]. Vargas & Pérez evalúan el aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. Mencionan que la generación de residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos genera una problemática ya que la mayoría de estos residuos no son procesados o dispuestos adecuadamente. Estos residuos cuentan con un alto potencial para ser aprovechados para la elaboración nuevos productos como ser la obtención de bioenergéticos (bioetanol, biodiésel, biogás, biomasa energética), proceso de compostaje, y aprovechamiento en la producción de alimentos para animales, entre otros [6]. Muchas evalúa las propiedades físicas, químicas, y termogravimétricas de pellets producidos con residuos de *guadua angustifolia kunth* (bambú) con el fin de obtener un biocombustible sólido densificado para disminuir los residuos de bambú en diferentes departamentos de Perú como una alternativa a la leña [7]. Rincón & González realizan un estudio de factibilidad para la fabricación de pellets a partir de material lignocelulósico proveniente de palma de aceite donde evalúan las características fisicoquímicas con el propósito de sustituir combustibles tradicionales [8].

Cabe mencionar que esta investigación es similar a las antes expuestas, ya que evalúa las características energéticas de pellets a base de vena de tabaco, casulla de arroz, y olote de maíz como biocombustible, con la novedad que estos están hechos de residuos agroindustriales no de biomasa leñosas. Por lo que la implementación de residuos para la realización de pellets se considera una alternativa tanto para la sustitución de la leña como la utilización de estos residuos. También mencionar que Honduras cuenta con potencial para el aprovechamiento de diferentes residuos, pero la escasa información sobre las características energéticas limita la implementación de alternativas no tradicionales para la

generación de calor y reducción del consumo de la leña.

Además, se realizaron mediciones en cuantos a sus características como ser la longitud, contenido de humedad, densidad a granel, durabilidad mecánica, y poder calorífico, entre otros. A su vez, se compara los resultados obtenidos con la normativa de calidad ISO 17225-6 con el fin de evaluar si estos pellets pueden ser utilizados como producto final.

II. METODOLOGÍA

En esta investigación se utiliza enfoque cuantitativo con un alcance tipo correlacional porque se comparan más de dos variables. Cuenta con un estudio experimental, ya que se evalúa la biomasa y el cambio que estas obtienen en cuanto a las variables dependientes.

A. Recolección de residuos biomásicos.

- Casulla de arroz: Este residuo se adquiere de una procesadora industrial de arroz Dieck y Dieck ubicada en el casco urbano de la ciudad de Villa Nueva Cortés.
- Vena de tabaco: La vena de tabaco es conseguida en una fábrica de puros llamada Flor de Copán, ubicada en Santa Rosa de Copán.
- Olote de maíz: El olote de maíz se recolecta de un negocio local de fabricación de tortillas y derivados del maíz, ubicado en la ciudad de San Pedro Sula.

B. Elaboración de los pellets.

La elaboración de pellets consta de secado, triturado, precalentado de la maquinaria, control de humedad, y pelletizado.

- Secado

Se procede a secar la biomasa obtenida de la vena de tabaco, ya que esta inicialmente tiene un contenido de humedad del 33 %. En cambio, la casulla de arroz y el olote de maíz no necesitan ser secados, puesto que sus contenidos de humedad inicial son de 11 % y 16 %.



Ilustración 1 Proceso del secado de la vena de tabaco

Fuente: Elaboración propia

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

- Triturado

Con la finalidad de disminuir el tamaño de partícula se tritura la vena de tabaco y el olo de maíz. Para el caso de la casulla de arroz este proceso no es necesario, porque el tamaño de este residuo es apropiado para usarlo en la pelletizadora.



Ilustración 2 Proceso de triturado: (1) vena de tabaco y (2) olo de maíz
Fuente: Elaboración propia

- Pre calentamiento

Para que la máquina comience a subir su temperatura se prepara una mezcla de granos de maíz y aceite vegetal, dicha mezcla se pasa repetidas veces por la tolva de alimentación hasta que la maquinaria pelletizadora alcance una temperatura de 60 grados celsius.



Ilustración 3 Mezcla de maíz con aceite para el pre calentamiento de la máquina
Fuente: Elaboración propia

- Control de humedad

Previo al proceso de pelletizado continuo es necesario determinar a prueba y error el contenido de humedad adecuada

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

(23% a 29%) con el que el material puede ser trabajado correctamente por la máquina pelletizadora.

En la Tabla 1 se visualiza el contenido de humedad natural y el contenido de humedad adecuada en los distintos residuos.

TABLA 1
PORCENTAJE DE LOS DISTINTO RESIDUOS PREVIOS AL PELLETIZADO

Residuo	Humedad natural	Humedad adecuada
Casulla de arroz	11 %	28 %
Olo de Maíz	16 %	24 %
Vena de tabaco	27 %	27 %

Fuente: Elaboración propia

- Pelletizado

Una vez calentada la máquina pelletizadora y determinado el contenido de humedad necesaria en cada material, se procede a alimentar de forma continua la pelletizadora. El proceso es el mismo en cada tipo de residuo.

La maquinaria eléctrica para pelletizar es de la marca ABC MACHINE con una potencia de 11 kW.



Ilustración 4 Proceso de pelletizado de la vena de tabaco
Fuente: Elaboración propia

C. Medición de las dimensiones de los pellets.

Tanto para la medición del diámetro como de la longitud de los pellets se usa un vernier analógico.

- Medición del diámetro

El diámetro es constante en todos los pellets, porque la matriz no se reemplaza durante el proceso del pelletizado.

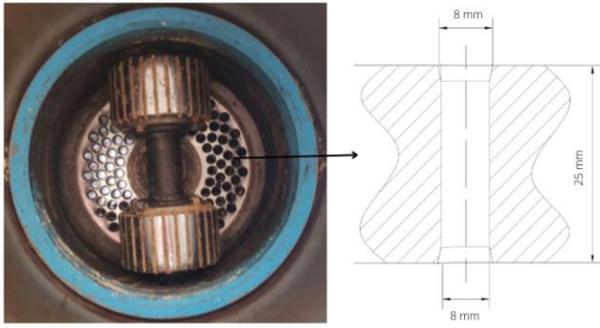


Ilustración 5 Matriz de la maquinaria pelletizadora usada

Fuente: Elaboración propia

- Medición de la longitud

La longitud de los pellets varia, ya que para su formación son separados con una cuchilla acoplada a la pelletizadora la cual los quiebra en un punto para provocar la separación.



Ilustración 6 Medición de la longitud de los pellets de vena de tabaco

Fuente: Elaboración propia

D. Determinación del contenido de humedad final.

El contenido de humedad de los pellets se determina usando un medidor de humedad marca Granolyser HL. El procedimiento trata en pesar 250 gramos de pellets e introducirlos en un recipiente.



Ilustración 7 Medidor de humedad marca Granolyser HL

Fuente: Elaboración propia

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

E. Cálculo de la densidad de los pellets.

Para el cálculo de la densidad a granel, se desarrolla la metodología propuesta por la norma (ISO:17828, 2015). Para realizar esta medición, se necesita un recipiente metálico de forma cilíndrica, también se usa una balanza y una cinta métrica. El procedimiento consiste en primero tarar el recipiente vacío y limpio, después se llena el recipiente en su totalidad con los pellets, y finalmente se pesa el recipiente lleno. Para el cálculo de densidad a granel, se utilizó la Ecuación 1:

$$D_g = \frac{V_r}{m_p} \quad (1)$$

Fuente: Elaboración propia con datos de [9]

Donde:

D_g = Densidad a granel de los pellets (g/cm³)

m_p = Masa de los pellets en el recipiente (g)

V_r = Volumen del recipiente (cm³)

F. Cálculo de friabilidad de los pellets.

Para calcular la friabilidad de los pellets se considera el método descrito por Camps y Marcos [10], quienes mencionan el método de golpe contra el suelo que consiste en dejar caer 100 pellets (cuatro veces repetidas) sobre suelo liso, desde una altura de un metro y contar el número de pellets que se rompen en diversos trozos por cada caída. Se aplican una vez lo antes expuesto por cada residuo. Luego se aplica la Ecuación 2 y se obtiene un promedio.

$$FR = \frac{NI}{NF} \quad (2)$$

Donde:

FR : Friabilidad de los pellets

NF : Número de pellets al final del ensayo

NI =Número de pellets al inicio del ensayo

El valor de FR siempre será mayor o igual a 1.

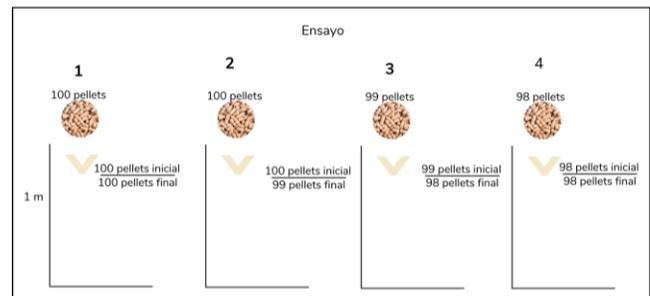


Ilustración 8 Proceso para definir la friabilidad de los pellets

Fuente: Elaboración propia

G. Cálculo de durabilidad mecánica de los pellets.

Se calcula la durabilidad mecánica mediante ensayos donde se toman 10 pellets por tipo de residuo biomásico. Posteriormente, se pesan las muestras haciendo uso de una balanza de precisión. Luego cada una de las muestras se dejan caer de una altura de 1.85 m (cuatro veces seguidas) sobre una superficie lisa donde se realiza una medición por las cuatro caídas. Se aplican tres veces lo antes expuesto por cada residuo. Si al realizar las cuatro caídas un pellet dentro de la muestra se quiebra, se retira el fragmento de mayor tamaño. Al finalizar se pesa lo restante de la muestra, es decir, los pellets enteros y los fragmentos pequeños que no fueron separados.

Para el cálculo del porcentaje de durabilidad se aplicó la Ecuación 3 descrita a continuación:

$$\text{Durabilidad mecánica (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

Fuente: Elaboración propia con datos [11]

Donde:

m_i =Masa inicial de los pellets en gramos(g)

m_f =Masa final de los pellets en gramos (g)

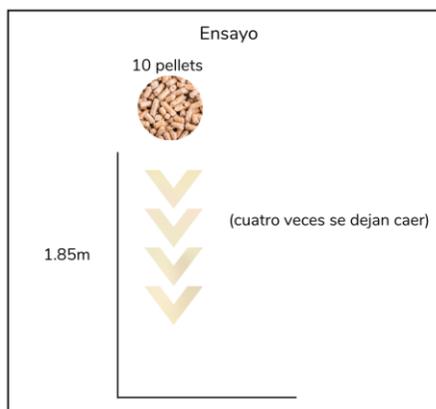


Ilustración 9 Proceso para definir la durabilidad mecánica en los pellets

Fuente: Elaboración propia

H. Determinación del poder calorífico los pellets.

Se determina el poder calorífico mediante un medidor isoperibólico marca LECO modelo AC 500. Para dicho análisis se realizan tres repeticiones por tipo de pellets utilizando un gramo como muestra en cada una de las pruebas, de manera que se puedan obtener resultados más fiables.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE



Ilustración 10 Muestras de pellets de casulla de arroz, vena de tabaco, y olote de maíz previo a determinar su poder calorífico

Fuente: Elaboración propia

I. Cálculo del contenido de cenizas de los pellets

El contenido de cenizas se determina mediante la combustión de los pellets en una estufa pirolítica hecha manualmente para realizar esta prueba.

Primero se procede a pesar un kilogramo de pellets para cada uno de los residuos que se utilizan, luego de ser estos pesados se procede a la ignición de cada muestra. Cuando la muestra puesta en la estufa pirolítica termina su combustión, se retira la ceniza para luego pesarla. Este proceso se repite por cada tipo de pellets.

En la Ecuación 4 se muestra la fórmula para el cálculo del porcentaje de cenizas.

$$Zh = \frac{m_{ceniza}}{m_{total}} \times 100 \quad (4)$$

Fuente: Elaboración propia con datos de [9]

Donde:

Zh= Porcentaje de ceniza de la muestra (%)

m_{ceniza} = Peso de la ceniza luego de la combustión (g)

m_{total} = Peso de la muestra previo a la combustión (g)



Ilustración 11 Proceso para determinar el contenido de cenizas de los pellets de casulla de arroz

Fuente: Elaboración propia

J. Comparación con la normativa ISO 17225-6

Al determinar las características tanto físicas como energéticas, se procede a realizar una comparación de cada uno de los parámetros con el fin de analizarlos con la norma ISO-17225-6.

La finalidad de la comparación es si los valores que se obtenga en esta investigación están dentro de los parámetros de la misma, y si poder saber la calidad a nivel internacional que poseen los pellets.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

TABLA 2

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS INCLUIDAS EN LA NORMA ISO 17225-6

Características energéticas	Unidad
Diámetro y longitud	mm
Contenido de humedad	%
Contenido de ceniza	%
Durabilidad	%
Densidad a granel	kg/m ³
Poder calorífico	kcal/kg, MJ/kg

Fuente elaboración propia.

K. Comparación con la normativa ISO 17225-6

Para elaborar la escala de calidad se toman en cuenta las características energéticas determinadas que estén incluidas dentro de la norma de calidad europea con las respectivas especificaciones para pellets de origen no leñoso. El número cero significa que este no cumple con la especificación y el número uno que este si cumple con los parámetros establecidos por dicha normativa. Luego de terminar su debido puntaje se realiza la sumatoria donde el tipo de pellets con mayor puntaje es el que más características cumple de la normativa.

El criterio definido para dicho puntaje se detalla en la tabla 3.

TABLA 3

MATRIZ COMPARATIVA PARA DETERMINAR LA ESCALA DE CALIDAD EN PELLETS DE ORIGEN NO LEÑOSO

Pellets de origen no leñoso		
Ítem	Parámetro	Puntaje
Poder calorífico (MJ/kg)	≥ 14.5	1
	< 14.5	0
Contenido de cenizas (%)	≤ 15	1
	> 15	0
Contenido de humedad (%)	≤ 10	1
	> 10	0
Durabilidad (%)	≥ 96	1
	< 96	0
Diámetro (mm)	$6 \leq D \leq 25$	1
	$6 > D > 25$	0
Densidad a granel (kg/m ³)	≥ 600	1
	< 600	0
Longitud (mm)	$3.15 \leq L \leq 40$	1
	$3.15 > L > 40$	0

Fuente: Elaboración propia con datos de la norma ISO 17225-6 [11]

En este capítulo se describen los resultados obtenidos de la investigación siguiendo la metodología expuesta anteriormente.

A. Dimensiones de los pellets

La norma indica que si el diámetro está entre 11 (mm) a 25 (mm); la longitud debe estar entre 3.15 (mm) a 50 (mm).

Todos los pellets elaborados poseen un diámetro de ocho milímetros. En cuanto a los resultados de longitud se encontró variación entre los distintos tipos de pellets, se muestran los datos con más detalles en la Tabla 4.

TABLA 4
DIMENSIONES DE LOS PELLETS

Tipos de pellets	Diámetro [mm]	Longitud mínima [mm]	Longitud máxima [mm]
Vena de tabaco	8	21	33
Casulla de arroz	8	17	38
Olote de maíz	8	20	38

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos y guiándose en la norma ISO 17225-6, se concluye que todos los pellets elaborados cumplen con los parámetros establecidos de dicha norma.

B. Determinación del contenido de humedad final de los pellets.

La norma ISO 17225-6 indica que el contenido de humedad tiene que ser ≤ 15 . En la Ilustración 12 se muestra que todos los pellets están por debajo del límite que indica la norma, por ende, podemos determinar que estos cumplen con lo especificado en dicha norma.

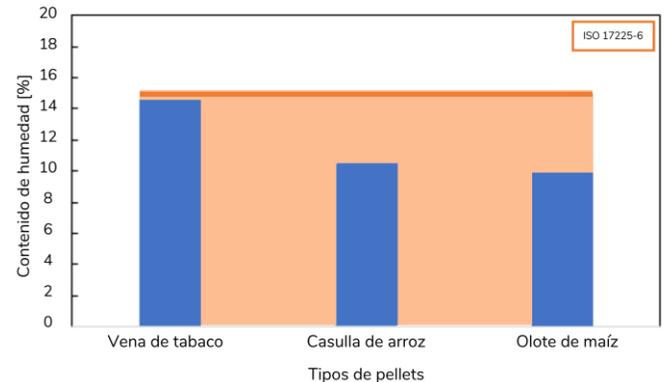


Ilustración 12 Contenido de humedad final de los pellets

Fuente: Elaboración propia

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

C. Densidad a granel de los pellets.

La norma ISO 17225-6 indica que la densidad a granel tiene que ser ≥ 600 . En la Ilustración 13 se muestra que Todos los pellets elaborados durante el estudio cumplen y sobrepasan la densidad a granel mínima que indica la norma ISO 17225-6, obteniendo el valor más alto los pellets de vena de tabaco y el valor más bajo corresponde a los pellets de olote de maíz.

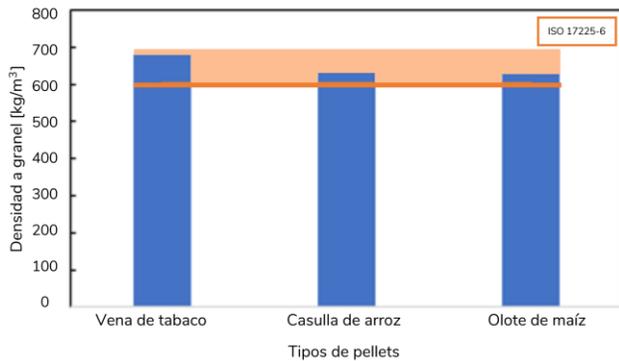


Ilustración 13 Densidad a granel de los pellets

Fuente: Elaboración propia

D. Friabilidad en los pellets.

De acuerdo a los resultados obtenidos el pellet con más friabilidad fue el que se elaboró a partir de casulla de arroz, ya que su valor se alejó más del uno, en cambio el de menor friabilidad fue el de vena de tabaco, siendo este más resistente al golpeo.

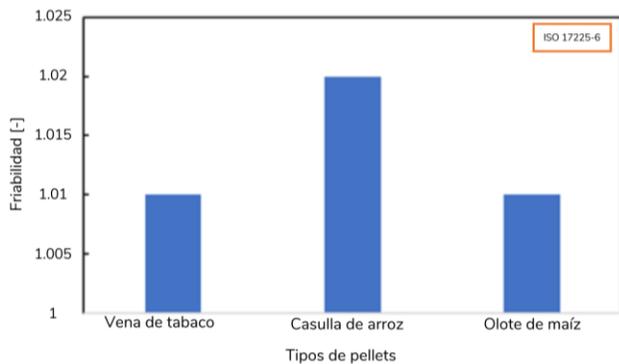


Ilustración 14 Friabilidad de los pellets

Fuente: Elaboración propia

E. Durabilidad de los pellets.

La norma ISO 17225-6 indica que la durabilidad mecánica tiene que ser ≥ 96 . De acuerdo con los resultados obtenidos de la durabilidad mecánica de los pellets mostrada

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

en la Ilustración 15, podemos determinar que los pellets de casulla de arroz no cumplen los valores sugeridos y los pellets de vena de tabaco y olote de maíz superan el límite que indica la norma.

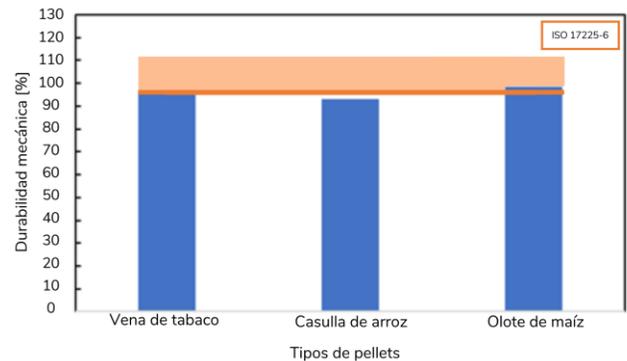


Ilustración 15 Durabilidad mecánica de los pellets

Fuente: Elaboración propia

F. Contenido de cenizas de los pellets.

La norma ISO 17225-6 indica que el contenido de cenizas tiene que ser ≤ 10 . De acuerdo a los resultados obtenidos y la comparación realizada en los pellets de origen no leñoso ISO 17225-6, podemos destacar que los pellets de vena de tabaco y casulla de arroz no cumple con los parámetros establecidos por dicha norma.

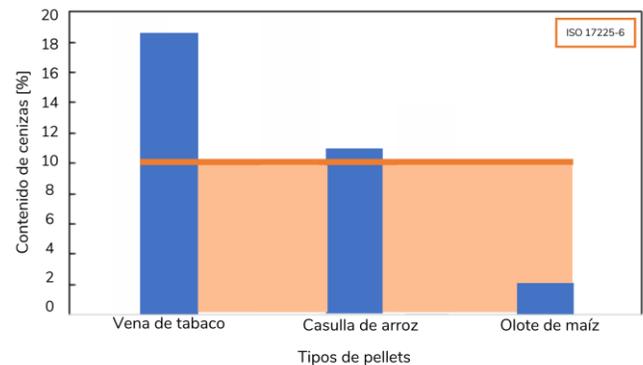


Ilustración 16 Contenido de cenizas de los pellets

Fuente: Elaboración propia

G. Poder calorífico de los pellets.

Para los poderes caloríficos de los pellets se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos que hacen referencia a las materias primas de las cuales fueron elaboradas los pellets y tres repeticiones a un nivel de significancia de 5%.

La norma ISO 17225-6 indica que el poder calorífico tiene que ser ≥ 14.5 MJ/kg. De acuerdo a los resultados

obtenidos y comparándolos con la normativa ISO 17225-6 podemos determinar que, únicamente el pellet de vena de tabaco no cumple con la norma teniendo un poder calorífico menor a 14.5 MJ/kg.

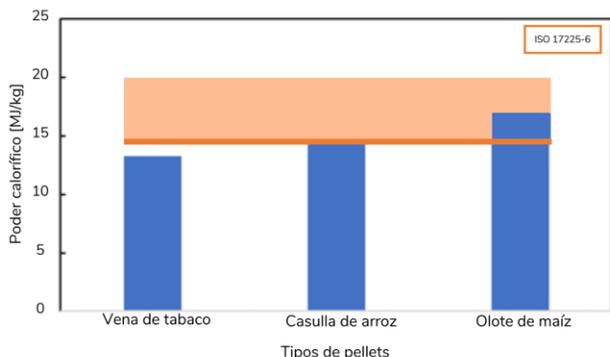


Ilustración 17 Poder calorífico de los pellets

Fuente: Elaboración propia

H. Escala de calidad de los pellets.

Con la escala de calidad nos podemos dar cuenta cuál de los pellets cumple con la mayoría de las especificaciones determinadas por la norma ISO 17225-6.

En la Tabla 5 se muestra que el tipo de pellets que cumple con todos los parámetros son los pellets de olote de maíz siendo este el de mayor puntaje.

TABLA 5
ESCALA DE CALIDAD CON BASE EN LA NORMATIVA ISO 17225-6

Pellets de origen no leñoso			Puntaje de los pellets		
Ítem	Parámetro	Puntaje	Vena de tabaco	Casulla de arroz	Oloste de maíz
Poder calorífico [MJ/kg]	≥ 14.5	1	0	1	1
	< 14.5	0	0	1	1
Contenido de humedad [%]	≤ 15	1	1	1	1
	> 15	0	1	1	1
Contenido de ceniza [%]	≤ 10	1	0	0	1
	> 10	0	0	0	1
Durabilidad [%]	≥ 96	1	1	0	1
	< 96	0	1	0	1
Diámetro [mm]	$6 \leq D \leq 25$	1	1	1	1
	$6 > D > 25$	0	1	1	1
Densidad a granel [kg/m ³]	≥ 600	1	1	1	1
	< 600	0	1	1	1

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Longitud [mm]	$3.15 \leq L \leq 40$	1	1	1	1
	$3.15 > L > 40$	0	1	1	1
Puntaje Total			5	5	7

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización física y energética de pellets de vena de tabaco, olote de maíz, y casulla de arroz con el fin de compararlos con la norma ISO 17225-6 y determinar si la biomasa transformada en pellets tenía potencial para ser utilizada como fuente de calor en la parte residencial e industrial como un sustituto a la leña. Los hallazgos más importantes de esta investigación son los siguientes:

- No se pudo definir el rendimiento de los pellets de casulla de arroz, olote de maíz, y vena de tabaco en cuanto a la producción de pellets, ya que al momento de su fabricación se necesitó más material del previsto para determinar el contenido de humedad con la que la pelletizadora lograba procesar cada biomasa. Lo que finalmente provocó una obtención de menos pellets de los esperados. Por tanto, si se tabulaban dichos datos no iba a tener una inferencia estadística real.
- Los pellets de vena de tabaco obtuvieron una densidad a granel de 680 kg/m³, en segundo lugar, los pellets fabricados de casulla de arroz con una densidad son de 634 kg/m³, y finalmente el del valor más bajo fue el de los pellets elaborados con olote de maíz con 631 kg/m³. En cuanto a la durabilidad mecánica los pellets de olote de maíz poseen el valor más alto con 98.51 %, seguido de los pellets de vena de tabaco con 96.44 %, quedando así en última posición los pellets de casulla de arroz con un 92.96 %. El contenido de humedad en los diferentes tipos de pellets fue menor del 15 % como lo indica la norma ISO 17225-6, destacándose los pellets de olote de maíz con un contenido de humedad del 9.85 % en segunda posición se encontró los pellets de casulla de arroz con un 10.45 %, quedando con un desempeño más bajo en este parámetro el pellet de vena de tabaco con una humedad de 14.66 %.
- El poder calorífico de los pellets de olote de maíz fue el más elevado con un valor de 17.11 MJ/kg, seguido de los pellets de casulla de arroz con 14.74 MJ/kg y los pellets de vena de tabaco con el valor más bajo que corresponde a 13.26 MJ/kg encontrándose este último por debajo del valor indicado en la norma ISO 17225-6 que es de 14.5 MJ/kg. En cuanto al contenido de ceniza de los pellets el valor más bajo obtenido fue el de los pellets de olote de maíz con un 2% de cenizas, en segundo lugar, se encontraron los pellets de casulla de arroz con un 10.9 % de cenizas,

y finamente los pellets elaborados con vena de tabaco contienen el porcentaje de cenizas más alto que corresponde a 18.7 %. Al observar tanto el poder calorífico como el contenido de ceniza de los pellets se puede identificar una correlación que comprueba que a mayor poder calorífico menor será el contenido de cenizas en los pellets.

- Las propiedades físicas de los pellets de vena de tabaco, casulla de arroz, y olote de maíz cumplen con el diámetro, longitud, y contenido de humedad. En cuanto a su durabilidad solo los pellets de casulla de arroz no cumplen con lo especificado por la norma. En cuanto al poder calorífico únicamente los pellets de vena de tabaco no cumplen con lo especificado por la normativa y solo los pellets de olote de maíz cumple con el contenido de cenizas.
- Los pellets de olote de maíz cumplen con todas las características tanto físicas como energéticas evaluadas en esta investigación. Estos pellets presentaron los mejores valores en los parámetros definidos en la norma de calidad europea como el poder calorífico, bajo contenido de cenizas y alta durabilidad mecánica.

La principal limitación de esta investigación fue encontrar el rendimiento en cuanto a la producción de pellets ya que la adecuación de la humedad que ocupa la biomasa es definida a prueba y error. Por ende, esta puede llevar más materia prima o tiempo del que se dispone. Sin embargo, para esta investigación no fue un factor determinante para llegar a los resultados en cuanto a las características físicas y energéticas de los pellets.

A pesar de dicha limitación, creemos que esta investigación puede servir de guía para la caracterización de las propiedades físicas y energéticas de otros residuos disponibles a nivel nacional. De igual forma darles valor agregado a estos residuos para que sean utilizados como biocombustibles sólidos densificados con el fin de disminuir el consumo de la leña.

V. REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Estado de Despacho de Energía. (2022). Balance Energético Nacional. Obtenido de <https://sen.hn/balance-energetico-nacional/>
- [2] FHIA. (2009). *Mejorando el ambiente de la familia rural y conservando los recursos naturales*. Obtenido de http://www.fhia.org.hn/descargas/noticias_fhia/2009_Noticias_de_la_FHI_A_26.pdf
- [3] Marcos, F.; Núñez, M. 2006. Biomasa forestal: fuente energética. *Energética XXI IV* (52): 80-85.
- [4] Pietsch, W. (2002). Agglomeration processes. Obtenido de <https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=MkyCiSna9QUC>
- [5] Treto, P. C., & Solís, K. (2017). Propiedades térmicas y fisicoquímicas de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos de aserradero. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6008639>
- [6] Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de calidad del ambiente. Obtenido

- de <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb>
- [7] Muchas, G. J. (2020). Evaluación de pellets producidos con residuos de *Guadua angustifolia* Kunth. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4482>
 - [8] Rincón, S., & Gonzáles, Y. A. (2014). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE PELLETS A PARTIR DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO PROVENIENTE DE PALMA DE ACEITE. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11229>
 - [9] Herrán, J., & Cortés, L. (2022). CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE COMBUSTIÓN A BASE DE PELLETS DE BORRA DE CAFÉ PARA LA OPERACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DIDÁCTICA DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8858/1/210112-2022-1-IM.pdf>
 - [10] Camps, M., & Marcos, F. (2008). *Biocombustibles*. Obtenido de https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/991/2991416.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221024%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221024T031157Z&X-Amz-SignedHeaders=h
 - Tenoria, C., Moya, R., Valaert, J., & Filho, M. (2015). Potencial de fabricación de pellets de residuos forestales de *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309474456_Potencial_de_fabricacion_de_pellets_de_residuos_forestales_de_Cupressus_lusitanica_y_Tec_tona_grandis_en_Costa_Rica

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE