

ELABORACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SOLIDOS DENSIFICADOS A BASE DE ASERRÍN DE DOS ESPECIES FORESTALES Y ESTIÉRCOL DE BOVINO DE USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN PUCALLPA-UCAYALI

Preparation of densified solid biofuels based on sawdust from two forest species and bovine manure for domestic and industrial use in Pucallpa-Ucayali

Manuel Iván Salvador Cárdenas, <https://orcid.org/0000-0002-2351-2514>

Julián Robert Pérez Vigilio, <https://orcid.org/0009-009-3124-6664>

Lenin Vladimir Vargas Villa, <https://orcid.org/0000-0002-5900-3818>

Noé Cristian Fachín Vargas, <https://orcid.org/0009-0005-9604-3551>

Guillermo Augusto Pastor Picón *, <https://orcid.org/0000-0002-3490-1646>

Universidad Nacional de Ucayali, Perú

* Autor para correspondencia. Email: guillermo_pastor@unu.edu.pe

Para citar este artículo: Salvador Cárdenas, M. I., Pérez Vigilio, J. R., Vargas Villa, L. V., Fachín Vargas, N. C. y Pastor Picón, G. A. (2024). Elaboración de biocombustibles solidos densificados a base de aserrín de dos especies forestales y estiércol de bovino de uso doméstico e industrial en Pucallpa-Ucayali. *Maestro y Sociedad*, 21(1), 404-418. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: En la región de Ucayali, específicamente en Pucallpa, a través de la industria maderera se genera residuos industriales como el aserrín y a través de la actividad pecuaria con la crianza de ganado vacuno, se genera abundante estiércol, bosta o boñiga, por lo tanto, se hace posible generar tipos de biocombustibles con la mezcla de aserrín – estiércol de bovino, con diferentes proporciones, para uso doméstico a través de cocinas mejoradas o de uso industrial. **Materiales y métodos:** El trabajo de investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Tecnología de la Madera y Transformación Química de la Madera, de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), situada en la carretera Federico Basadre Km. 6.200, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo y región Ucayali. En los ensayos se aplicó el método experimental, que consistió en observar y evaluar las propiedades, características y rasgos importantes de los biocombustibles. **Resultados:** En los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de Ceiba pentandra (lupuna blanca), con el incremento del contenido de estiércol, la densidad se incrementa; la resistencia a la abrasión y a la compresión se mantienen constantes; el tiempo de encendido se incrementa; el tiempo de combustión se incrementa; el contenido de ceniza se incrementa; la velocidad de combustión disminuye; la eficiencia térmica se mantiene constante y el poder calórico disminuye. **Discusión:** La comparación de las características de los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales, Ceiba pentandra (lupuna blanca) (Lb) y Manilkara bidentata (quinilla colorada) (Qc), revela una serie de resultados significativos, por ejemplo, con el aumento del contenido de estiércol, se observa un incremento en la densidad de los biocombustibles, así como en las resistencias a la abrasión y a la compresión. **Conclusiones:** En los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de Manilkara bidentata (quinilla colorada), con el incremento del contenido de estiércol, la densidad y la resistencia a la abrasión se mantiene constante; la resistencia a la compresión y el tiempo de encendido disminuyen; el tiempo de combustión, el contenido de ceniza, la velocidad de combustión y la eficiencia térmica se mantienen constantes y el poder calórico disminuye.

Palabras clave: Biocombustible, briqueta, estiércol de bobino, aserrín.

ABSTRACT

Introduction: In the Ucayali region, specifically in Pucallpa, through the wood industry, industrial waste such as sawdust is generated and through livestock activity with the raising of cattle, abundant manure, dung or dung is generated, therefore, it becomes possible to generate types of biofuels with the mixture of sawdust – bovine manure, with different proportions, for domestic use through improved stoves or for industrial use. **Materials and methods:** The research work was carried out

in the Wood Technology and Chemical Transformation of Wood Laboratories, of the National University of Ucayali (UNU), located on the Federico Basadre highway Km. 6,200, Callería district. , province of Coronel Portillo and Ucayali region. In the tests, the experimental method was applied, which consisted of observing and evaluating the properties, characteristics and important traits of biofuels. Results: In biofuels composed of bovine manure and Ceiba pentandra (white lupuna) sawdust, with the increase in manure content, the density increases; resistance to abrasion and compression remain constant; ignition time is increased; the burning time is increased; the ash content increases; the combustion rate decreases; The thermal efficiency remains constant and the caloric value decreases. Discussion: The comparison of the characteristics of biofuels composed of bovine manure and sawdust from two forest species, Ceiba pentandra (white lupuna) (Lb) and Manilkara bidentata (red quinilla) (Qc), reveals a series of significant results, for For example, with the increase in manure content, an increase in the density of biofuels is observed, as well as in abrasion and compression resistance. Conclusions: In biofuels composed of bovine manure and Manilkara bidentata (red quinilla) sawdust, with the increase in manure content, the density and abrasion resistance remain constant; compression resistance and ignition time decrease; The combustion time, ash content, combustion rate and thermal efficiency remain constant and the heating value decreases.

Key words: Biofuel, briquette, bovine dung, sawdust.

Recibido: 19/10/2023 Aprobado: 4/12/2023

INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana es la mayor parte del territorio del Perú, cubierta por una densa selva amazónica que abarca según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), 782.880,55 km² de territorio peruano. La región de Ucayali tiene una extensión de 432.159 km² y una población de 102.410,55 habitantes.

En los bosques del departamento o región Ucayali habitan muchas especies forestales que se convierten en materia prima para la industria maderera, centralizada en Pucallpa, que para muchos es la capital forestal del Perú. La industria forestal de Pucallpa procesa 1 656 206 m³ de madera rolliza por año (SERFOR, 2017), lo que genera aproximadamente 165 621 m³ de corteza, estimando que representa el 10% del volumen total de la madera rolliza, constituyéndose como residuo industrial, sin ninguna utilidad, contaminando el ambiente.

En Pucallpa industrialmente el aserrín casi no se utiliza como materia prima para la obtención de un producto, en Pucallpa se ha determinado una biomasa mensual de aserrín que se desecha de 5456 m³ (Sánchez Miguel, 2012). En la región de Ucayali, la actividad ganadera se desarrolla en dos macro ejes de distribución de la población del ganado vacuno; el primero que se encuentra a lo largo de la carretera Federico Basadre donde se concentra la mayor población de ganado vacuno. El segundo eje se desarrolla a lo largo de la cuenca Alta del Río Ucayali (Masisea, Bolognesi), y en la provincia de Atalaya en las riberas del río Urubamba y Tambo (Sepahua y el Gran Pajonal) (Macedo, 2016).

La crianza de ganado bobino implica la generación de estiércol o bosta en el pastizal, el ganado adulto defeca de 10 a 15 veces por día, el área cubierta por las heces se encuentra entre medio y un metro cuadrado diario y la cantidad total de heces eliminada es de unos 20 a 30 kg por día, pudiendo elevarse hasta 45 kg. Las heces, deposiciones fecales, estiércol o bosta del bovino están compuestas principalmente por agua y por los elementos no digeridos, ya sea por fibra lignificada indigerible o por granos con cubierta muy firme, o por otras fracciones alimenticias no digeribles, como ser alimentos en partículas muy finas, algunos sectores de fibra del forraje, alimentos muy digestibles, granos enteros, etc (Bavera Guillermo y Peñafort Carlos, 200).

El uso de materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales (bosta o boñiga), utilizados comúnmente como combustible en las zonas alto andinas y costa del Perú, incrementan los casos de infecciones respiratorias agudas, así lo manifestó el Ministerio de Salud, en el lanzamiento de la campaña “Medio Millón de Cocinas Mejoradas Certificadas, por un Perú sin Humo”. Además, dijo que dicha iniciativa promueve que las cocinas mejoradas tengan una chimenea para sacar los humos al exterior de la vivienda, evitando de ese modo los residuos tóxicos que perjudican a toda la familia (MINISTERIO DE SALUD, 2009).

En consecuencia, la región de Ucayali a través de la industria maderera se genera residuos industriales como aserrín y a través de la actividad pecuaria como crianza de ganado vacuno, se genera abundante estiércol, bosta o boñiga, por lo tanto, se hace posible generar tipos de biocombustibles por la mezcla de aserrín – estiércol de bovino, con diferentes proporciones, para uso doméstico a través de cocinas mejoradas o de uso industrial.

El objetivo fue determinar las características físicas como densidad, resistencia a la abrasión, resistencia a la compresión, tiempo de encendido, tiempo de combustión, contenido de ceniza, velocidad de combustión,

eficiencia térmica y poder calórico de los biocombustibles sólidos y densificados elaborados con aserrín de dos especies forestales y estiércol de ganado bovino, con diversas proporciones de los componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Tecnología de la Madera, y Transformación Química de la Madera, de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), situada en la carretera Federico Basadre Km. 6.200, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo y región Ucayali. Para los ensayos se aplicó el método experimental, que consistió en observar y evaluar las propiedades, características y rasgos importantes de los biocombustibles.

La población estuvo constituida por el volumen total de aserrín de las especies *Manilkara bidentata* (Quinilla colorada) y *Ceiba pentandra* Ulbr. (Lupuna blanca) que se produjeron en el primer trimestre del 2022, en los aserraderos de Pucallpa, así como el volumen de estiércol de bovino producido en la ganadería de la Universidad Nacional de Ucayali, durante el primer trimestre del año 2022. La muestra estuvo constituida por 50 kg de aserrín por especie y 70 kilos de estiércol de bovino, para la fabricación de un total de 54 kilos de biocombustibles con diferentes proporciones.

La recolección del aserrín de la especie *Ceiba pentandra* ulbr. (lupuna blanca) se realizó en Industrial Ucayali. S.A. (IUSA), ubicada en la Carretera Federico Basadre km. 4.200 y la del aserrín de la especie *Manilkara bidentata* (Quinilla colorada) se realizó en el Complejo Maderero S.A.C. (COMASAC) ubicada en la Carretera de Manantay. La recolección del estiércol de bovino, se hizo en la ganadería de la Universidad Nacional de Ucayali ubicada en el km 6.200 interior 3 km, los mismos que fueron transportados, secados y acondicionados en el Taller de Carpintería de la UNU.

El tamizado del aserrín de las especies lupuna blanca y quinilla colorada, se realizó con dos tamices de 40 y 60 micras, con la finalidad de eliminar el material en forma de polvo. Los materiales tamizados fueron colocados en bandejas de lata, para su posterior secado, en concordancia con la Norma ASTM D-422.

El secado del aserrín de las dos especies se realizó en una estufa de 20 litros de capacidad; el tiempo de secado fue aproximadamente de 20 días, a una temperatura progresiva empezando con 50°C, 70°C hasta llegar a la etapa final del secado de 105±3 °C; en ambas especies se llegó a un contenido de humedad óptima de 12%. El contenido de humedad final del estiércol fue de 10 %. Se aplicó la Norma NTP 339.127.1998.

El aglutinante fue elaborado a partir del almidón de yuca, se utilizó la siguiente relación: 250 g de almidón por tres litros de agua; la mezcla fue cocinada a fuego lento y homogenizada su contenido en una licuadora. Se utilizó la Norma NTP E. 060.

El proceso de elaboración consistió en preparar briquetas con diferentes proporciones, en primer lugar se procedió a pesar el aserrín de las dos especies forestales y el estiércol de bovino tamizada y seca al horno, utilizando una balanza de capacidad de 10 kilos; a partir de ello se calcularon el peso del aserrín y del estiércol de bovino, que llenaran la capacidad de 19 moldes de acero dulce, de 38 mm de diámetro y 90 mm de largo y determinar el peso exacto de cada proporción.

Los 19 moldes se calentaron a 200°C en una estufa de 20 litros de capacidad, llegado a esta temperatura, se procedió a realizar la mezcla del aserrín con el estiércol de bovino. A ello se agregó el aglutinante 85 % del peso total de cada combinación; mezclada los tres componentes de manera homogénea se procedió a llenar los moldes, dando un pre-prensado para luego ser transportada cada molde a una prensa hidráulica manual con capacidad de presión de 1500 bares (1516 kg/cm²). Por un tiempo de 10 minutos la briqueta recibió una presión aproximada de 75 kg/cm², luego fue retirada, iniciándose así el periodo de enfriamiento del molde; una vez frío, se retiró manualmente la briqueta. NTP 399.010-1 (pp. 75-85).

La determinación de las características de los biocombustibles sólidos y densificados se realizó de la siguiente manera:

Densidad de la briqueta.- Fue determinada en condiciones ambientales de laboratorio, utilizando la norma NTP 251.011 y empleando la siguiente expresión:

$$D = M/V$$

D = Densidad de la briqueta en kg/cm³.

M = Masa de la briqueta a 13% de CH en g.

V = Volumen de la briqueta a 13% de CH en cm³.

Resistencia a la abrasión. – En este ensayo se utilizó una mesa vibradora para simular el movimiento de un medio de transporte. La briqueta fue pesada y sometida a 3 minutos de vibración, después del tiempo de vibración la briqueta fue pesada nuevamente, en una balanza de precisión. Se utilizó la norma NTP N° 400.019.

$$Ra = 100 * (Pi - Pf)/Pi$$

Ra = Resistencia a la abrasión en %.

Pi = Peso inicial de la briqueta en g.

Pf = Peso final de la briqueta vibrada en g.

Resistencia a la compresión. – El ensayo consistió en presionar la briqueta simulando la compresión por apilamiento, en una prensa universal de 30 toneladas de capacidad. El ensayo se ejecutó bajo los criterios de la norma ASTM 143-94.

$$Rc = Q \text{ max.}/A$$

Rc = Resistencia a la compresión en kg/cm²

Q max. = Carga máxima en kg,

A = Superficie de compresión de la briqueta en cm²

Tiempo de encendido. – Consistió en medir el tiempo en que la briqueta demora en tomar un color rojo y el fuego se sostenga, sometida a una fuente de calor, como el mechero de Bunsen.

Tiempo de combustión. – Consistió en medir el tiempo de consumo total de la briqueta por el fuego. Se llevó a cabo bajo la norma Técnica UNE-EN 1860-2:2005 y la NTC 2060.

Contenido de ceniza. – El contenido de ceniza se calculó tomando el peso inicial de la briqueta y el peso de la ceniza después de la combustión total. El ensayo se realizó bajo los criterios de la Norma Técnica UNE-EN 1860-2:2005 y la NTC 2060.

$$Cz = Pz * 100/Pi$$

Cz = Contenido de ceniza en %

Pz = Peso de la ceniza en g.

Pi = Peso inicial de la briqueta en g.

Velocidad de combustión, - Mide el consumo del biocombustible por unidad de tiempo

$$Vc = Pi/Tc$$

Vc = Velocidad de combustión en g/minuto

Pi = Peso inicial de la briqueta en g.

Tc = Tiempo de combustión en minutos

Eficiencia térmica. – Mide el rendimiento del biocombustible en el proceso de combustión.

$$R = 100 * (Pi - Pz)/Pi$$

R = Eficiencia térmica en %

Pi = Peso inicial de la briqueta en g

Pz = Peso de la ceniza en g

Poder calórico. – En una bomba calorimétrica se determinó el valor energético de la briqueta expresado en kilocalorías/por kilogramo de biocombustible.

Para analizar la influencia del porcentaje de estiércol de bovino en las características físicas, mecánicas y químicas de los biocombustibles sólidos y densificados, compuesto de estiércol de bovino y aserrín, en sus diferentes proporciones, se realizó el análisis de correlación y regresión lineal simple.

RESULTADOS

Características de los biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino, en diversas proporciones

Densidad

La tabla 1 muestra la densidad de los biocombustibles sólidos y densificados de estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como Ceiba pentandra (lupuna blanca) y Manilkara bidentata (quinilla colorada); fabricados con cuatro proporciones diferentes. En el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca, en las proporciones 80- 20%, se encontró la briqueta más densa con 0.94 g/cm³ y en las proporciones 20- 80% la menos densa con 0.54 g/cm³. Para el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada el más denso se encontró en las proporciones 40- 60 % respectivamente, con 1.24 g/cm³ y la briqueta menos densa en las proporciones 20- 80%, con 0.80 g/cm³.

Tabla 1. Densidad de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje		Densidad (g/cm ³)	
Estiercol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	0.94	0.89
60	40	0.83	0.84
40	60	0.57	1.24
20	80	0.54	0.80

Tabla 2. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y la densidad de los biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. densidad	0.911	$Y = 0.0072x + 0.357$	0.658	**
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. densidad	0.068	$Y = -0.0006x + 0.972$	0.497	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

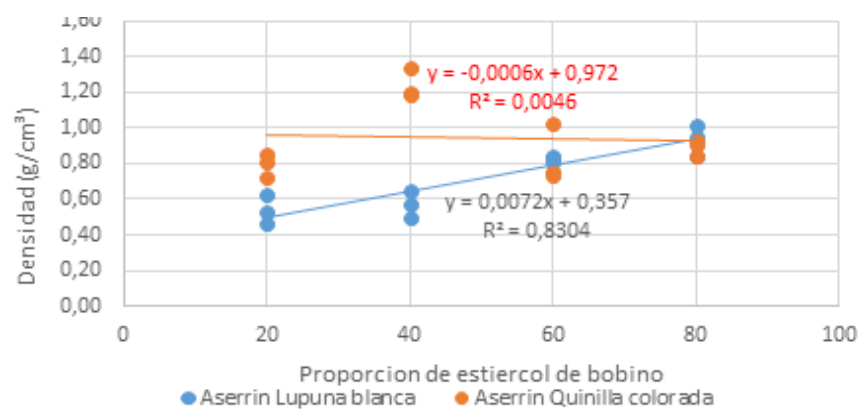


Figura 1. Densidad de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

La tabla 2 y figura 1 ponen de manifiesto que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de Ceiba pentandra (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones presentan una relación positiva altamente significativa ($r=0.911$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol de bovino, la densidad del biocombustible también se incrementa, a razón de 0.0072 g/cm³ por cada 1% de incremento de estiércol de bovino. Esta variación se debió a la mezcla del aserrín de lupuna blanca de baja densidad (0.28 g/cm³) y el estiércol de bovino de densidad media (0.60 g/cm³), mejorando la densidad del biocombustible. Las briquetas de estiércol y aserrín de lupuna blanca, las combinaciones 80 y 60% de estiércol y de 20 y 40% de aserrín, proporcionaron briquetas de muy alta densidad (> 0.75 g/cm³) y las briquetas con combinaciones 40 y 20% de estiércol con 60 y 80% de aserrín resultaron briquetas de mediana densidad (> 40 g/cm³), según la escala de Sibille Ana (2006).

Con respecto a los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentaron relación significativa ($r=0.068$), lo que indica que la densidad se mantiene casi constante, debido a la alta densidad de la madera, que le vuelve al biocombustible un material de alta densidad a pesar de las combinaciones. Según la escala establecida por Sibille Ana (2006) para productos maderables las briquetas de estiércol y aserrín de quinilla colorada en todas las combinaciones se catalogaron como briquetas de muy alta densidad ($> 0.75 \text{ g/cm}^3$).

Resistencia a la abrasión

En la tabla 3 se aprecia la resistencia a la abrasión de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados de estiércol de ganado bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En los biocombustibles que fueron fabricados con estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca, en las proporciones 20- 80%, se encontraron las briquetas con mayor resistencia a la abrasión, con 98.9% de resistencia al desmoronamiento de las partículas y en las proporciones 40- 60% se hallaron briquetas con menor resistencia a la abrasión, con 93.3% de resistencia al desmoronamiento. En el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada el que presentó mayor resistencia a la abrasión, fueron en las proporciones 60- 40 % respectivamente, con 99.7% de resistencia al desmoronamiento y el que presento menor resistencia a la abrasión fueron las proporciones 80- 20%, con 97.7% de resistencia al desmoronamiento de las partículas

Tabla 3. Resistencia a la abrasión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Resistencia a la abrasión (%)	
Estiercol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	97.8	97.7
60	40	94.3	99.7
40	60	93.3	98.5
20	80	98.9	99.2

Tabla 4. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y resistencia a la abrasión de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Resistencia a la abrasión	-0.066	$Y = -0.0108x + 96.623$	0.497	N.S.
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Resistencia a la abrasión	-0.184	$Y = -0.0164x + 99.61$	0.497	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

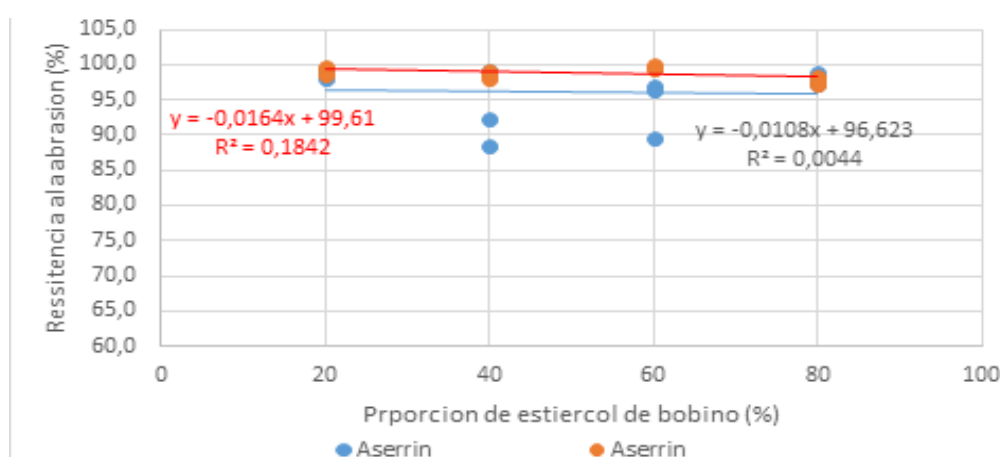


Figura 2. Resistencia a la abrasión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

La tabla 4 y figura 2 ponen en evidencia que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentaron una relación significativa ($r=-0.066$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la resistencia a la abrasión del biocombustible permanece casi constante.

Con respecto a los biocombustibles sólidos de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, tampoco presentaron relación significativa ($r=-0.184$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la resistencia a la abrasión del biocombustible se mantiene casi constante. La resistencia a la abrasión en los biocombustibles sólidos y densificados, según Mendoza Jorge et al. (2018), se debe a la capacidad de compactado de la maquina briquetadora, esta ejerce altas presiones y temperaturas hasta de 250 °C lo cual hace que se libere la lignina de las biomásas y permite la unión entre partículas.es consecuencia de la buena adhesión.

Las briquetas de estiércol y aserrín de quinilla colorada se encuentran en el rango más alto de durabilidad $DU \geq 95\%$, mientras que las briquetas de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca, arrojo alta durabilidad $DU > 94\%$. En términos generales los biocombustibles o briquetas de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada presentaron mayor resistencia a la abrasión o al desmoronamiento, permitiendo que estas briquetas soporten las condiciones normales de almacenamiento y transporte, que el de estiércol y aserrín de lupuna blanca.

Resistencia a la compresión

En la tabla 5 se aprecia la resistencia a la compresión de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados con estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca con proporciones 80- 20%, se encontraron briquetas con mayor resistencia a la compresión, con 8.32 kg/cm² de presión y en las proporciones 40- 60% se ubicaron las briquetas con menor resistencia a la compresión con 7.44 kg/cm². Para el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada, la proporción que presentó mayor resistencia a la compresión, fueron las briquetas con proporciones 20 - 80% respectivamente, con 54.17 kg/cm² y el que presentaron menor resistencia a la compresión fueron las briquetas de proporciones 80- 20%, con 24.28 kg/cm² de presión.

Tabla 5. Resistencia a la compresión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
Estiercol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	8.32	24.28
60	40	7.44	53.06
40	60	7.44	53.39
20	80	7.60	54.17

Tabla 6. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y resistencia a la compresión de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Resistencia a la compresión	0.445	$Y = 0.0108x + 7.1569$	0.497	N.S.
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Resistencia a la compresión	-0.793	$Y = -0.4501x + 68.728$	0.658	**

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel se significación

La tabla 6 y figura 3 muestran que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentaron una relación significativa, ($r=0.445$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la resistencia a la compresión del biocombustible se mantiene casi constante

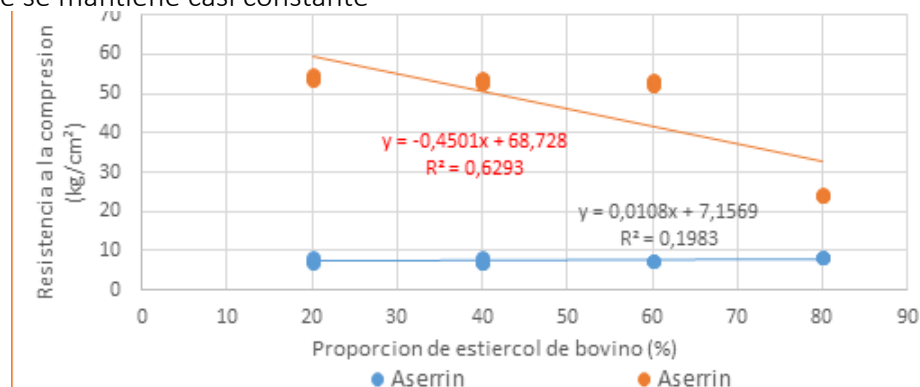


Figura 3. Resistencia a la compresión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bobino

En cuanto a los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones presentaron una relación altamente significativa, negativa ($r=-0.793$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la resistencia a la compresión del biocombustible disminuye significativamente, a razón de 0.4501 g/cm^2 por cada 1% de incremento del estiércol de bovino. Esta situación se produce a causa de la alta densidad de la madera de “quinilla colorada” (0.87 g/cm^3) y que al combinarse con el estiércol de bovino cuya densidad fue de 0.60 g/cm^3 , les resta cohesión a las partículas del biocombustible, restándole resistencia a la compresión.

De igual forma se puede afirmar que los biocombustibles de estiércol de bovino con aserrín de quinilla colorada, presentaron una mayor resistencia a la compresión, que de acuerdo a la escala de Dávalos y Bárcenas (1999), es considerada como de resistencia baja ($35 - 65 \text{ kg/cm}^3$) los biocombustibles de estiércol y aserrín de lupuna blanca, resulto como briquetas de muy baja resistencia ($<35 \text{ kg/cm}^3$).

Tiempo de encendido

La tabla 7 muestra el tiempo de encendido de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados de estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En el caso de los biocombustibles preparados de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca en las proporciones 80- 20%, se encontró la briqueta que requiere de mayor tiempo de encendido, con 2.08 minutos y en las proporciones 60- 40% se encontró la que requirió de menor tiempo de encendido, solo de 0.35 minutos. Para el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada el que requirió mayor tiempo de encendido, estuvo en las proporciones 20- 80 % respectivamente, con 3.34 minutos y el que requiere de menor tiempo de encendido se encontró en las proporciones 80- 20%, con 2.73 minutos.

Tabla 7. Tiempo de encendido de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Tiempo de encendido (minutos)	
Estiercol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	2.08	2.73
60	40	0.35	3.02
40	60	1.06	3.24
20	80	0.45	3.34

Tabla 8. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y tiempo de encendido de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol- aserrín de lupuna blanca vs. Tiempo de encendido	0.742	$Y = 0.0209x + 0.0583$	0.658	**
Proporción de estiércol-aserrín de quinilla colorada vs. Tiempo de encendido	-0.678	$Y = -0.0103x + 3.595$	0.658	**

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

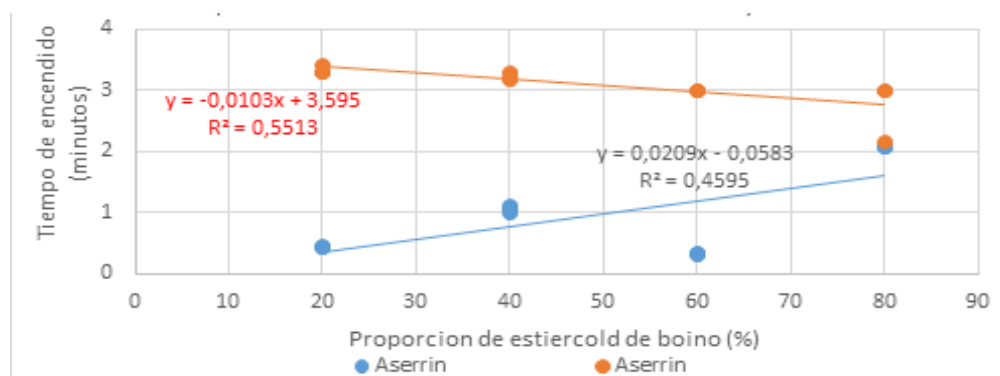


Figura 4. Tiempo de encendido de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino.

La tabla 8 y figura 4 ponen en evidencia que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones presentan una relación positiva altamente significativa ($r=0.742$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el

tiempo de encendido del biocombustible se incrementa, a razón de 0.0209 minutos por cada 1% de incremento de estiércol de bovino.

Con respecto a los biocombustibles sólidos de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, presentan una relación negativa altamente significativa ($r = -0.678$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el tiempo de encendido del biocombustible disminuye, a razón de 0.0103 minutos por cada 1% de incremento de estiércol de bovino. Sobre el caso, Mendoza Jorge et al (2018) sostiene que las briquetas con mayor contenido de estiércol, tienen menos espacio entre partículas, por lo que hay menos oxígeno y dificulta el encendido, como sucede con la briqueta de estiércol con aserrín de lupuna blanca.

Tiempo de combustión

La tabla 9 muestra el tiempo de combustión de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados de estiércol de bovino y aserrín de madera de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En los biocombustibles fabricados de estiércol de bovino 80% y aserrín de lupuna blanca 20%, se encontró al que ha requerido de mayor tiempo de combustión, con 1.11 horas y las proporciones 20 y 80% fue la que requirió de menor tiempo de combustión, tan solo de 0.43 horas para consumirse. En el caso de los biocombustibles fabricados de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada, todas las combinaciones han requerido el mismo tiempo de combustión, es decir de 1.55 horas para consumirse totalmente

Porcentaje (%)		Tiempo de combustión (Horas)	
Estiercol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	1.11	1.55
60	40	1.04	1.55
40	60	1.00	1.55
20	80	0.43	1.55

Tabla 9. Tiempo de combustión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Tiempo de combustión	0.559	$Y = 0.0104x + 0.3778$	0.497	*
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Tiempo de combustión	-0.007	$Y = 0.00004x + 1.5522$	0.497	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

Tabla 10. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y tiempo de combustión de biocombustibles sólidos y densificados

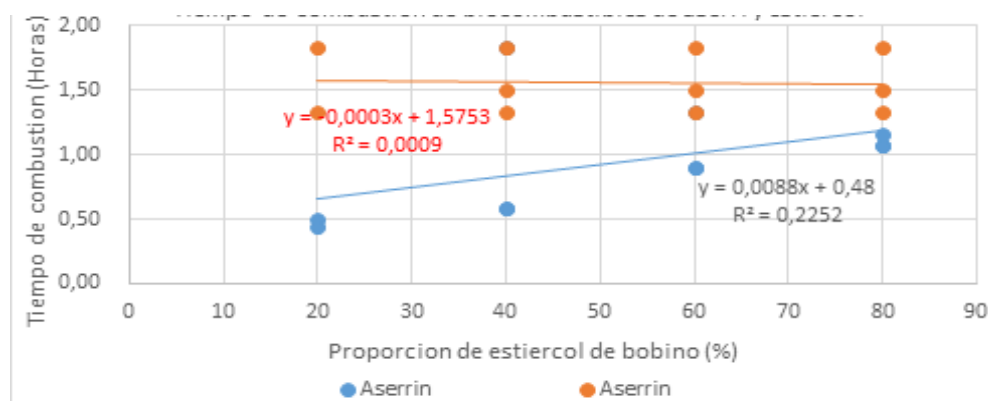


Figura 5. Tiempo de combustión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

La tabla 6 y figura 5 ponen de manifiesto que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones presentan una relación significativa positiva ($r = 0.559$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el tiempo de combustión del biocombustible se incrementa significativamente, a razón de 0.0088 horas por cada 1% de incremento de estiércol de bovino.

Con respecto a los biocombustibles sólidos de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentan una relación significativa ($r=-0.0009$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el tiempo de combustión del biocombustible se mantiene casi constante. De todo esto se concluye que las briquetas con mayor contenido de estiércol tienen menos espacio entre partículas, por lo que hay menos oxígeno y dificulta la combustión (Mendoza Jorge et al., 2018)

Contenido de ceniza

La tabla 11 muestra el contenido de ceniza de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados con estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada); con cuatro proporciones diferentes y aglutinados con almidón de yuca. En los biocombustibles fabricados de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca en las proporciones 80- 20%, se encontraron briquetas con mayor contenido de ceniza con 16.37 % y las proporciones 20- 80% fueron las que presentaron menor contenido de ceniza, con solo 7.22%. En el caso de los biocombustibles compuesto de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada la que presentó mayor contenido de ceniza fue la proporción 80- 20 % con 15.51% y el que presentó el menor contenido de ceniza fueron las briquetas con proporciones 40- 60%, con 8.26%.

Tabla 11. Contenido de ceniza de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Contenido de ceniza (%)	
Estiércol	Aserrín	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	16.37	15.51
60	40	7.99	10.20
40	60	10.42	8.26
20	80	7.22	13.67

Tabla 12. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bobino y contenido de ceniza de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Contenido de ceniza	0.755	$Y = 0.125x + 4.2495$	0.658	**
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Contenido de ceniza	0.248	$Y = 0.0372x + 10.051$	0.497	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

La tabla 12 y figura 6 ponen de manifiesto que los biocombustibles sólidos compuesto de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones presentaron una relación altamente significativa, positiva ($r=0.755$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el contenido de cenizas del biocombustible aumenta significativamente, a razón de 0.125% por cada 1% el incremento de estiércol de bovino. Esta situación se produce por que la madera de lupuna blanca presenta bajo contenido de ceniza y que al combinarse con el estiércol de bobino el contenido de ceniza del biocombustible se incrementa, poniendo de manifiesto que el estiércol de bovino contiene mayor contenido de ceniza, tal como lo precisa Mendoza Jorge et al. (2018) al señalar que el estiércol de bovino contiene (31.71% de ceniza)

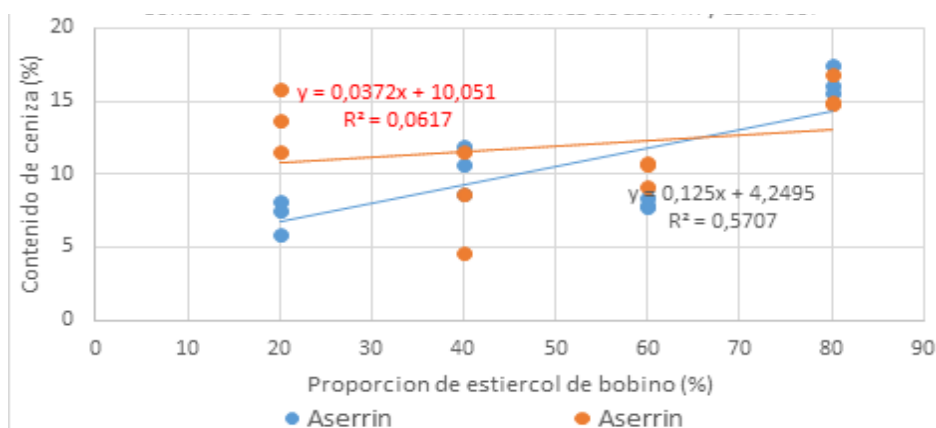


Figura 6. Contenido de ceniza de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bobino

Con respecto a los biocombustibles sólidos de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentaron una relación significativa ($r=0.248$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el contenido de ceniza del biocombustible se mantiene casi constante. Esta situación se presentó por que madera de quinilla colorada contiene un considerable contenido de ceniza y que, al combinarse con el estiércol de bovino de similar contenido de ceniza, no afecta significativamente el contenido de ceniza de los biocombustibles.

Velocidad de combustión

En la tabla 13 se aprecia la velocidad de combustión de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados con de estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En el caso de los biocombustibles producidos con estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca en las proporciones 20- 80%, presentaron mayor velocidad de combustión, con 0.59 g/minuto de combustión y en las proporciones 40- 60% se presentó la de menor velocidad de combustión, con 0.50 g/minuto. Para el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada, las briquetas con mayor velocidad de combustión se localizaron en las proporciones 80- 20% respectivamente, con 0.48 g/minuto de consumo y las de menor velocidad de combustión fueron ubicadas en las proporciones 40- 60%, con 0.45 g/minuto, resultando la más lenta en la combustión.

Tabla 13. Velocidad de combustión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Contenido de ceniza (%)	
Estiércol	Aserrín	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	0.53	0.48
60	40	0.50	0.48
40	60	0.50	0.45
20	80	0.59	0.47

Tabla 14. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y velocidad de combustión de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Velocidad de combustión	-0.539	$Y = -0.0058x + 0.8981$	0.497	*
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Velocidad de combustión	-0.057	$Y = -0.0003x + 0.4828$	0.658	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

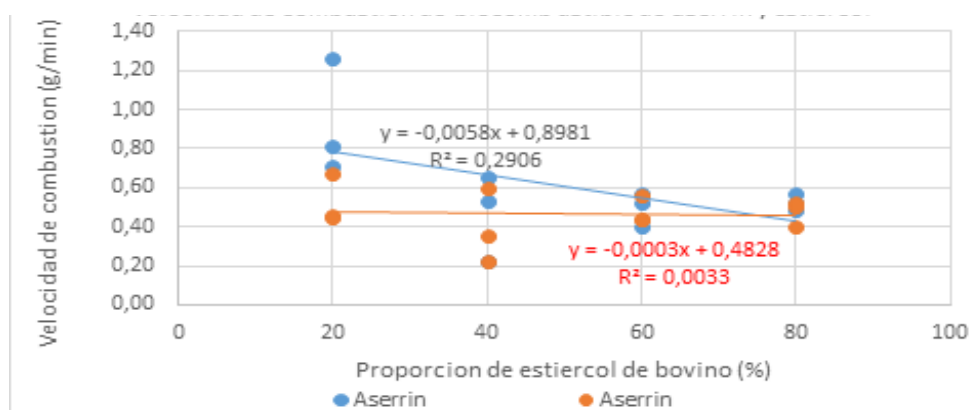


Figura 7. Velocidad de combustión de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

La tabla 14 y figura 7 muestran que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, presentaron una relación significativa, negativa ($r=-0.539$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la velocidad de combustión se reduce, a razón de 0.0048 g/minuto, por cada 1% de incremento del estiércol de bovino, poniendo en evidencia que a mayor contenido de estiércol menor es la velocidad de combustión, situación que corrobora lo manifestado por Mendoza Jorge et al. (2018) quien señala que las partículas de estiércol se consumen con menor rapidez a las de aserrín, debido a que este último tiene mayor carbono fijo y material volátil que facilita la combustión

En lo que concierne a los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentan una relación significativa ($r=0.057$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la velocidad de combustión del biocombustible se mantiene constante.

Sobre el asunto Palo Juan et al. (2021) en la producción de briquetas de estiércol de alpaca e ichu en Arequipa – Perú, determinó una velocidad de combustión de 1.278 g/minuto.

Eficiencia térmica

En la tabla 15 se aprecia la eficiencia térmica de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados con estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con cuatro proporciones diferentes. En los biocombustibles producidos con estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca, las proporciones 20- 80%, presentó la mayor eficiencia térmica, con 92.78 % de rendimiento y las proporciones 80- 20% fue la que presentó menor eficiencia térmica, con 83.63% de rendimiento. Para el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada la que presentó mayor eficiencia térmica fue las proporciones 40- 60% respectivamente, con 91.74% de rendimiento y la que presento menor eficiencia térmica fue las proporciones 80- 20%, con 84.49% de rendimiento.

Tabla 15. Eficiencia térmica de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Contenido de ceniza (%)	
Estiércol	Aserrin	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	83.63	84.49
60	40	92.01	89.80
40	60	89.58	91.74
20	80	92.78	86.33

Tabla 16. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y eficiencia térmica de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Eficiencia térmica	-0.755	$Y = -0.125x + 95.75$	0.658	**
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Eficiencia térmica.	-0.248	$Y = -0.0372x + 89.949$	0.497	N.S.

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
N. Signif. = Nivel de significación

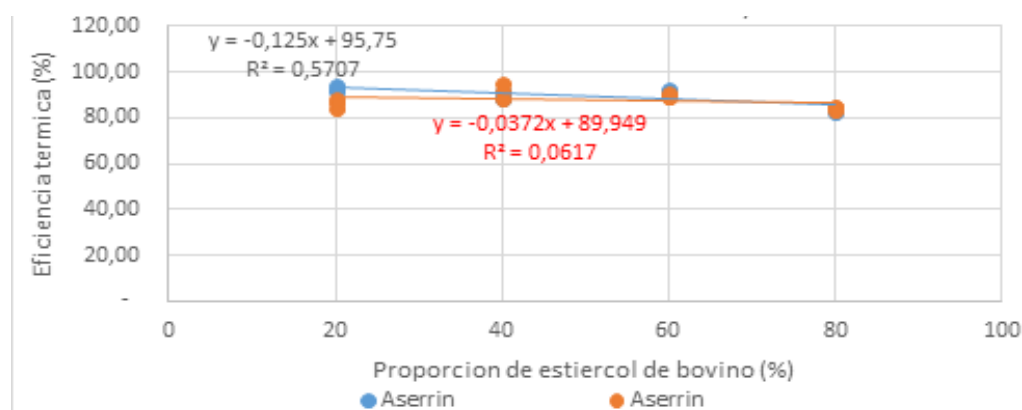


Figura 8. Eficiencia térmica de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

La tabla 16 y figura 8 muestran que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, presentaron una relación altamente significativa, negativa ($r=-0.755$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la eficiencia térmica del biocombustible se reduce, a razón de 0.125%, por cada 1% de incremento del estiércol de bovino.

En lo que concierne a los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, no presentan una relación significativa ($r=-0.248$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, la eficiencia térmica del biocombustible se mantiene casi constante.

Por otro lado, Mendoza *et al.* (2018) precisa que uno de los aspectos que afecta la eficiencia energética es la densidad de las briquetas, que con alto contenido de estiércol y que al estar muy comprimidas impiden la circulación de oxígeno, por lo que disminuye la capacidad de una buena combustión.

Poder calórico

En la tabla 17 se aprecia el poder calórico de los biocombustibles sólidos y densificados fabricados con estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales como Ceiba pentandra (lupuna blanca) y Manilkara bidentata (quinilla colorada); aglutinados con almidón de yuca. En el caso de los biocombustibles fabricados de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca, las proporciones 20- 80%, presentaron el mayor poder calórico, con 3597 kcal/kg y las proporciones 80- 20% fue la que presentó menor poder calórico, con 2716 kcal/kg. En el caso de los biocombustibles de estiércol de bovino y aserrín de quinilla colorada el que presentó mayor poder calórico fueron las proporciones 20- 80% respectivamente, con 4170 kcal/kg de biocombustible y el que presento menor poder calórico fue las proporciones 80- 20%, con 2643 kcal/kg de biocombustible.

Tabla 17. Poder calórico de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol

Porcentaje (%)		Contenido de ceniza (%)	
Estiércol	Aserrín	Lupuna blanca	Quinilla colorada
80	20	2716	2643
60	40	3156	2993
40	60	3412	3690
20	80	3597	4170

Tabla 18. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de estiércol de bovino y poder calórico de biocombustibles sólidos y densificados

Variables	rc	Ecuación	rt	N. signif.
Proporción de estiércol y aserrín de lupuna blanca vs. Poder calórico	-0.980	$Y = -14.495x + 3945$	0.980	**
Proporción de estiércol y aserrín de quinilla colorada vs. Poder calórico	-0.993	$Y = -26.39x + 4696.5$	0.980	**

rc = Coeficiente de correlación observado rt = Coeficiente de correlación tabular
 N. Signif. = Nivel de significación

La tabla 18 y figura 9 muestran que los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de Ceiba pentandra (lupuna blanca) con estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, presentaron una relación altamente significativa, negativa ($r=-0.980$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el poder calórico del biocombustible se reduce, a razón de 14.50 kcal/kg, por cada 1% de incremento del estiércol de bovino.

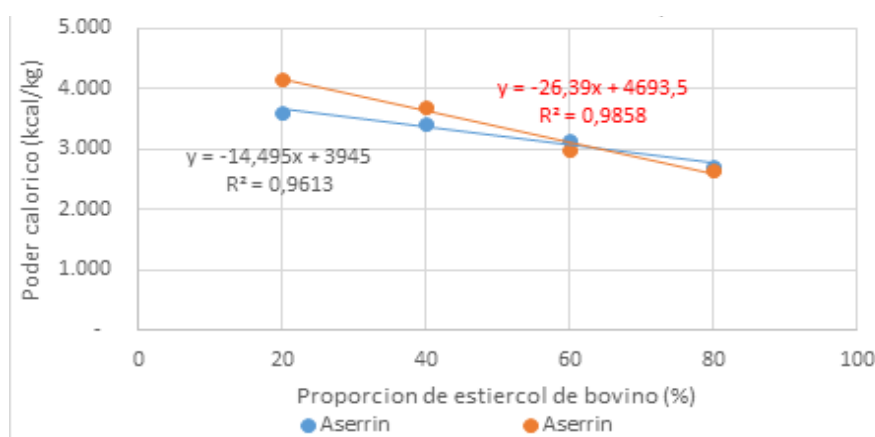


Figura 9. Poder calórico de biocombustibles sólidos y densificados de aserrín y estiércol de bovino

En lo que concierne a los biocombustibles sólidos fabricados de aserrín de Manilkara bidentata (quinilla colorada) y estiércol de bovino en sus cuatro combinaciones, presentaron una relación altamente significativa, negativa ($r=-0.993$), lo que indica que conforme se incrementa el porcentaje de estiércol, el poder calórico del biocombustible disminuye a razón de 26.39 kcal/kg, por cada 1% de incremento del estiércol de bovino.

La reducción del poder calórico en ambos biocombustibles puede deberse al contenido de ceniza y otros componentes, existentes tanto del estiércol de bovino como del aserrín que no se queman. Cabe resaltar que

las briquetas con porcentaje de 80 % de estiércol en ambas especies, están por debajo del mínimo requerido por la norma NTC 2060 para briquetas no hechas a base de carbón que es de 2987.57 kcal/kg (12500 kJ/kg).

DISCUSIÓN

La comparación de las características de los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de dos especies forestales, *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) (Lb) y *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) (Qc), revela una serie de resultados significativos. En primer lugar, con el aumento del contenido de estiércol, se observa un incremento en la densidad de los biocombustibles, así como en las resistencias a la abrasión y a la compresión. Estos hallazgos sugieren que el estiércol de bovino desempeña un papel crucial en la formación de una matriz sólida y resistente en los biocombustibles densificados. Además, se evidencia que el tiempo de encendido, el contenido de ceniza y el tiempo de combustión son superiores en el biocombustible compuesto de quinilla colorada (Qc) en comparación con lupuna blanca (Lb). Esto podría atribuirse a diferencias en la composición química de las especies de madera, así como a la interacción entre el estiércol y el aserrín durante el proceso de densificación.

Por otro lado, se destaca que la velocidad de combustión es mayor en el biocombustible de lupuna blanca (Lb). Esta disparidad puede deberse a variaciones en la estructura y la porosidad de los biocombustibles resultantes de la combinación de estiércol y aserrín de diferentes especies forestales. A pesar de estas variaciones, se observa que la eficiencia térmica es similar en ambos biocombustibles. Este resultado sugiere que, a pesar de las diferencias en las características físicas y químicas, ambos biocombustibles son igualmente eficientes en la generación de calor durante la combustión.

Por último, se destaca que el poder calórico es mayor en el biocombustible compuesto de quinilla colorada (Qc), lo que indica un mayor contenido de energía disponible por unidad de masa. Esta característica es crucial en la evaluación del rendimiento energético de los biocombustibles y sugiere que el uso de quinilla colorada como materia prima puede resultar en una mayor eficiencia energética en comparación con lupuna blanca. En resumen, los resultados obtenidos de la comparación de las características de los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de lupuna blanca (Lb) y quinilla colorada (Qc) resaltan la importancia de la selección de materias primas en la elaboración de biocombustibles sólidos densificados. Estos hallazgos pueden contribuir a optimizar los procesos de producción y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los biocombustibles a nivel doméstico e industrial en la región de Pucallpa–Ucayali.

CONCLUSIONES

En los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca), con el incremento del contenido de estiércol, la densidad se incrementa; la resistencia a la abrasión y a la compresión se mantienen constantes; el tiempo de encendido se incrementa; el tiempo de combustión se incrementa; el contenido de ceniza se incrementa; la velocidad de combustión disminuye; la eficiencia térmica se mantiene constante y el poder calórico disminuye.

En los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), con el incremento del contenido de estiércol, la densidad y la resistencia a la abrasión se mantiene constante; la resistencia a la compresión y el tiempo de encendido disminuyen; el tiempo de combustión, el contenido de ceniza, la velocidad de combustión y la eficiencia térmica se mantienen constantes y el poder calórico disminuye.

Efectuando la comparación de las características de los biocombustibles compuestos de estiércol de bovino y aserrín de *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) (Lb) y de estiércol de bovino y aserrín de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) (Qc), con el incremento del contenido de estiércol, la densidad, las resistencias a la abrasión y a la compresión, el tiempo de encendido, el contenido de ceniza y el tiempo de combustión son superiores en biocombustible de Qc; la velocidad de combustión es mayor en biocombustible de Lb; la eficiencia térmica son similares en ambos y el poder calórico es mayor en Qc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bavera, G. y Peñafort, C. (2006). Alimentación. Cursos de producción bovina de carne, FAV UNRC. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/61-heces_del_bovino_y_relacion_con_la_alimentacion.pdf

2. Dávalos, R. y Bárcenas, G. (1999). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca” (en línea). *Madera y Bosques*, 5, 61 - 69. <http://www.inecol.edu.mx/myb/resumeness/5.1/pdf/Davalos%20y%20Barcenass%201999.PDF>
3. Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). (1987). NTC 2060. Combustibles para uso doméstico.
4. Instituto de Investigación de Amazonia Peruana (IIAP). (2020). El IIAP. http://www.iiap.org.pe/web/presentacion_iiap.aspx
5. Macedo, C. (2016). Producción de leche en ganado de doble propósito (cruces europeo x cebú) bajo un sistema silvopastoril intensivo, en Pucallpa. [Tesis de ingeniería. Perú].
6. Mendoza, J., González, Y., Doria, M., Pedroza Á. y Ruiz, A. (2020). Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
7. Palo, J., Puma A., Campos, E., Colque, D., Figueroa, I. y Chaupi, L. (2021). Aprovechamiento del estiércol de alpaca e ichu para la producción de briquetas como fuente de energía calorífica en Arequipa. <http://www.scielo.org.pe/pdf/tecnia/v31n1/2309-0413-tecnia-31-01-51.pdf>
8. Perú. MINSA. (2009). Uso de leña o estiércol de animal para cocinar incrementa casos de infecciones respiratorias. Nota de Prensa. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/38408-uso-de-lena-o-estiercol-de-animal-para-cocinar-incrementa-casos-de-infecciones-respiratorias>
9. Sánchez, M. (2012). Proyección de tratamiento de residuos en el parque ecoindustrial de Pucallpa, Gerencia Regional de Desarrollo Económico – Gobierno Regional de Ucayali. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/foro-seg-alimentaria/parque_ecoind_pucallpa.pdf
10. SERFOR. (2017). Anuario forestal y de fauna silvestre. <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/520/1/Anuario%20Forestal%20y%20Fauna%20Silvestre%202017.pdf>
11. Sibille, A. (2006). Guía de Procesamiento Industrial Fabricación de Muebles con Maderas Poco Conocidas. LKS Editora Argentina S.R.L.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

Los autores del manuscrito señalado, DECLARAMOS que hemos contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, estamos en condiciones de hacernos públicamente responsable de él y aceptamos que sus nombres figuren en la lista de autores en el orden indicado. Además, hemos cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Manuel Iván Salvador Cárdenas, Julián Robert Pérez Vigilio, Lenin Vladimir Vargas Villa, Noé Cristian Fachín Vargas y Guillermo Augusto Pastor Picón: Proceso de revisión de literatura y redacción-corrección del artículo.