



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



ARTICULO CIENTIFICO

PROYECTO DE INVESTIGACION

**DISEÑO Y EFICIENCIA ENERGETICA DE BRIQUETAS
ELABORADAS A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS
ORGANICOS, ASERRIN Y CASCARILLA DE ARROZ**

Autor:

Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón
Docente Asociado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Correo electrónico: ttuesta7@hotmail.com

Pucallpa-Perú
2016

DISEÑO Y EFICIENCIA ENERGETICA DE BRIQUETAS ELABORADAS A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS, ASERRIN Y CASCARILLA DE ARROZ

DESIGN AND ENERGY EFFICIENCY OF MANUFACTURED BRIQUETTES FROM SOLID ORGANIC WASTE, ASERRIN AND RICE SCRUB

Tedy Tuesta Torrejón

Profesor Asociado Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

RESUMEN

La investigación se realizó en el taller de carpintería y laboratorio de Transformación Química de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali. El objetivo fue evaluar la eficiencia energética de briquetas elaboradas de una mezcla de residuos domésticos, aserrín y residuos de cascarilla de arroz; asimismo, determinar su poder calorífico, sus propiedades físicas (resistencia, humedad, densidad) y propiedades químicas (cenizas). Para evaluar los gases de combustión se quemaron las briquetas y se empleó el equipo Testo 340 para determinar la cantidad de gases en g/m³. Para el resto de propiedades se usaron metodologías de laboratorio. Se aplicó el análisis de varianza (ANVA) y prueba de Tukey para comparación de promedios. La briqueta testigo emitió menores cantidades de monóxido de carbono (0,6 g/s). En valores de poder calorífico no hubo diferencia significativa en los tratamientos. Los tratamientos 1, 2 y 4 presentaron valores similares en contenido de humedad. El testigo presentó menor contenido de cenizas con 0,6%. El tratamiento 3 presentó mayor densidad aparente con 0,47 g/cm³. Los tratamientos 1 y 3 presentaron valores similares pero superiores en resistencia a la compresión paralela. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) que emiten las briquetas al momento de la combustión o quema no sobrepasan los límites de exposición según norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Palabras clave. Briquetas, poder calorífico, residuos sólidos.

ABSTRACT

The research was carried out in the facilities of the carpentry workshop and laboratory of chemical transformation of wood of the National University of Ucayali. The objective was to evaluate the energy efficiency of briquettes made from a mixture of domestic solid waste, sawdust and rice husk residues; also, determine its calorific value, its physical properties (resistance, humidity, density) and chemical properties (ashes). To evaluate the combustion gases, the briquettes were burned and the Testo 340 equipment was used to determine the amount of gases in g / m³. For the rest of the properties, laboratory methodologies were used. The analysis of variance (ANVA) and the Tukey test were applied to compare averages. The control briquette emitted lower amounts of carbon monoxide (0.6 g / s). In values of calorific power there was no significant difference in the treatments. Treatments 1, 2 and 4 presented similar values in moisture content. The witness presented lower ash content with 0.6%. Treatment 3 had a higher bulk density with 0.47 g / cm³. Treatments 1 and 3 presented similar but higher values in parallel compression resistance. The carbon monoxide (CO) emissions emitted by the briquettes at the time of combustion or burning do not exceed the exposure limits according to the United States Environmental Protection Agency (EPA) standard.

Keywords. Keywords. Briquettes, calorific value, solid waste.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial y la búsqueda por satisfacer sus estándares de vida y de confort, resulta en un incremento del uso de energía. Esta situación implica mayor uso de combustibles fósiles y un considerable impacto ambiental. De esta forma, el precio de dichos combustibles está en constante aumento y por ende, es necesario diversificar las fuentes energéticas.

En el mundo, un promedio de tres mil millones de personas utiliza leña como combustible para fines de cocina y calefacción, de los cuales dos mil millones de personas se encuentran en áreas rurales y suburbanas. En América Latina y el Caribe cada año se consume 254 millones de m³ de leña (FAO, 1999); de manera que, los más afectados resultan ser las personas que habitan en zonas rurales principalmente mujeres y niños que ahora tienen que recorrer mayor distancia para recolectar leña, generando problemas sociales y ambientales (FAO, 1999).

Los métodos industriales de briquetado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América. Tras la guerra las briquetas fueron apartadas del mercado por los hidrocarburos baratos. De nuevo durante los períodos de alto precio de la energía, como los años 70 y principios de los 80, el uso de briquetas se revitaliza, principalmente en Escandinavia, los EEUU y Canadá. Actualmente la tendencia es producir briquetas de combustible de bajo costo económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor (Ortiz, L. et al, 2003).

Por muchos años (Foundation, 2003), ha realizado estudios sobre el uso de la tecnología de briquetas en países asiáticos, africanos y latinoamericanos (Perú, Nicaragua y Haití) en ambientes rurales y suburbanos. La tecnología de las briquetas está orientada a sustituir el uso de la leña, por la escasez y dificultad en su accesibilidad. En lugares donde se desarrolló la tecnología de las briquetas se ha reducido el consumo de leña y se ha dado mayor aprovechamiento a los residuos que generan las actividades agrícolas y forestales (industria maderera).

En Perú y particularmente en la región Ucayali, el uso de biomasa (en forma de residuos) para la producción de briquetas permitiría sustituir una parte importante de los combustibles fósiles (Diesel, GLP, entre otros) consumidos por hogares y la industria, lo cual podría mitigar el cambio climático y mejorar la seguridad energética. (OEEE, 2010)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y HERRAMIENTAS

- Wincha(3m)
- Baldes con capacidad de 10 litros
- Tinas con capacidad de 20 -50 litros
- Tamizador de plástico N°40
- Jarras con capacidad de 1 litro
- Costales con capacidad de 100kg
- Cocina diseñada para briquetas
- Zarandas de dimensiones de 45cm de ancho x 60 de largo y 55cm de ancho x 70 cm de largo

EQUIPOS

- Balanza romana de 100 kg
- Prensa hidráulica de 4 TN de fuerza
- Prensa de madera de 120 kg/cm²
- Molino tipo corona
- Analizador de Gases Testo 340
- Calorímetro IKA C200
- Estufa
- Mufla
- Balanza analítica de +- 0.0001g
- Balanza kitchen icafe de 1kg

INSUMOS

- Aserrín de madera capirona
- Aserrín de madera cachimbo
- Aserrín de madera tornillo
- Residuos Organicos:
 - Hoja de choclo
 - Cascara de yuca
 - Cascara de alverja
- Residuos de cascarilla de arroz
- Harina de yuca(almidon)
- Agua

Metodología

Se realizó en cuatro etapas: Etapa de recolección de residuos, Etapa de diseño y construcción de prensas, Etapa de fabricación de Briquetas, Etapa de pre-evaluación y Etapa de evaluación.

Etapa de construcción de herramientas para la elaboración de briquetas

Se realizó la construcción de las distintas herramientas para la elaboración de las briquetas. Se utilizó el manual de construcción proporcionado por “ (Foundation, 2003)”, donde se detalla los pasos, medidas y sugerencias para la construcción de la prensa y los moldes que se requieren para la fabricación de las briquetas. Durante este proceso se usó las instalaciones del área de carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali.

Se realizó una prensa con una estructura hecha de madera con soporte de tornillos y bisagras y con tubo metálico. Por otra parte, los moldes que servirán en la fabricación de briquetas estarán elaborados de tubo de PVC, un pistón de madera y separadores metálicos.

Etapa de recolección y transporte de los residuos

Se realizó la recolección de los residuos según su generación y disposición. Para la recolección de los residuos de las especies maderables (aserrín de capirona, aserrín de tornillo, aserrín de cashimbo) se procedió a ubicar los Aserraderos, de donde se recolectaron los residuos generados en la sierra principal del proceso de producción de aserrío de la madera.

Los mercados ubicados en el distrito de Callería fueron los puntos de recolección de los residuos orgánicos (cascara de yuca, hojas de choclo, cascara de alverja) y otros, para luego ser transportados y secados al aire libre en el área de carpintería

de la UNU. Por otro lado, la recolección de los residuos de cascarilla de arroz se realizó de la empresa Molinera Aguilar, del cual se tuvo disponibilidad y facilidades para la respectiva recolección.

Posteriormente, después de la recolección de residuos se procedió a transportar a las instalaciones del taller de Carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali.

Etapas de elaboración de briquetas

Se elaboró los distintos tipos de briquetas, a diferentes proporciones de residuos, para determinar su funcionalidad, ya que no hay recetas en la literatura que indiquen las proporciones óptimas de elaboración de las briquetas.

Los residuos que se utilizaron son:

Tabla 1. Tipos de residuos para la elaboración de briquetas

TIPO DE RESIDUO	DESCRIPCION
Residuos sólidos orgánicos	-Hojas de choclo
	-Cáscara de yuca
	-Cáscara de alverja
Aserrín	-Especie Capirona
	-Especie Tornillo
Residuos agroindustriales	-Especie Cashimbo
	-Cascarilla de Arroz

Tabla 2. Proporciones por tipo de briquetas

COMPONENTES	BRIQUETA I		BRIQUETA II		BRIQUETA III	
	Peso(gr)/ Volumen(ml) CAPIRONA	%	Peso(gr)/ volumen(ml) CASHIMBO	%	Peso(gr)/ volumen(ml) TORNILLO	%
RSO	5	4	13	9	3	2
Aserrín	100	71	65	47	100	63
Cascarilla de arroz.	5	4	20	15	5	3
Almidón de yuca	30	21	40	29	50	32
Sub- Total	140gr	100	138gr	100	158gr	100
Agua	80ml	-	120ml	-	80 ml	-

Se elaboraron briquetas con cada uno de los residuos de manera independiente y en diferentes proporciones de mezclas.

Etapas de elaboración de briquetas

Recolección de residuos: El proceso de elaboración de briquetas comienza con la recolección de residuos.

Selección de los residuos: La selección se realizó de acuerdo a los residuos requeridos; la selección del aserrín fue de la sierra principal debido a la generación de pequeñas partículas el cual nos facilite su adhesión en la mezcla para la elaboración de la briqueta.

La selección de los residuos orgánicos (hojas de choclo, cascara de yuca y cascara de alverja) fueron elegidos por ser las especies de mayor volumen de residuos generados diarios, además por su gran aporte energético de cada especie.

El poder energético que presenta la cascarilla de arroz fue la razón por la cual se optó para la selección de este residuo para la elaboración de briquetas ecológicas.

Secado de residuos: El secado de los residuos se realizó al aire libre. Los residuos de aserrín (capirona, Cashimbo y tornillo), tuvieron en tiempo de secado de 5 días al aire libre.

Las hojas de choclo y las cáscaras de alverja secaron en un periodo de 3 días, la cáscara de yuca tuvieron un periodo de secado de 8 días. Las cascarillas de arroz secaron en 4 días.

Triturado de residuos: El triturado es un proceso importante en la elaboración de briquetas. El objetivo de este proceso es obtener el tamaño adecuado (0.5 cm a 1 cm) de los residuos, utilizando picadoras eléctricas para facilitar el molido de residuos (cascara de yuca, cascarilla de arroz, cascara de alverja, hojas de choclo) para el proceso de molido.

Molido de residuos: En este proceso los residuos (cascara de yuca, cascarilla de arroz, cascara de alverja, hojas de choclo) son molidos de acuerdo a la especie para obtener una partícula menor 0.5 mm para lograr una adhesión entre las distintas partículas para que la briquetas tengan una consistencia compacta.

Tamizado de los residuos: Se realizó el tamizado a los residuos utilizando tamizadores de plástico 4 mm para obtener partículas pequeñas requeridas para la adhesión entre las partículas para la elaboración de las briquetas con una consistencia compacta. El tamizado se realizó a todos los residuos que se utilizaron en el proceso de elaboración.

Mezclado: Se realizó el mezclado de los insumos tamizados a utilizar según el tipo de briqueta, luego se procedió a homogenizar la mezcla para una mayor uniformidad.

Vaciado en molde: Se realizó el vaciado de la mezcla homogenizada de una manera uniforme, después colocamos todas las partes del molde para su posterior prensado.

Prensado de Briquetas: Este proceso se realizó con la ayuda de una prensa hidráulica con una capacidad de 4 toneladas, el cual se adaptó una válvula de presión (10 000Psi) el cual nos sirvió para medir las presiones requeridas para cada tipo de Briqueta. La prensa hidráulica se elaboró en la primera etapa del proyecto.

Secado de briquetas: Las briquetas antes de secarlos al aire libre reposan 3 días bajo sombra para que pierdan humedad para tener un mejor manejo. Las briquetas se secaron al aire libre (sol) en un tiempo de secado de 5 días.

Empaquetado y Almacenado: En este proceso las briquetas son empaquetadas con los diseños elaborados para su posterior almacenado y distribución al mercado.

Clasificación

La etapa de pre-evaluación será parte de los resultados finales, aquí se llegará después de fabricar diferentes tipos de briquetas. Para la investigación se realizarán mezclas de diferentes composiciones de cada tipo de briqueta, para ser pre-evaluados. Esta etapa es una evaluación rápida de las briquetas, para determinar dos aspectos importantes y para no desarrollar en vano la evaluación final. Es una etapa donde se analizan las mezclas a diferentes porcentajes.

Prueba física.- Las briquetas tienen un molde ya establecido, parecido a un aro, la prueba física consistió en que éstas se mantengan estructuralmente al ser manipulado durante la fabricación, el transporte y cuando estén secos. Se calificará de la siguiente manera:

Tabla 3. Clasificación de las Briquetas

	Calificación	Descripción
A	Excelente	Cuando la estructura es lo suficientemente estable, es decir, manipulable al momento de ser fabricado y duro cuando está seco, y que no se rompa con facilidad.
B	Regular	Cuando la estructura tiene una mediana estabilidad, es decir, regularmente manipulable al momento de ser fabricado, y que al momento de estar seco sea duro, se desmorone ligeramente, o se rompa con dificultad.
C	Malo	Cuando la estructura no es estable, es decir, vuelve más de la tercera parte de su tamaño normal, y no es manipulable fácilmente al momento de ser fabricado, que cuando este seco se desmorone y se rompa con facilidad al manipularlo o transportarlo.

Fuente: Proyecto de Creación de una Fábrica de Briquetas de aserrín en Santa Rosa del Aguaray.

Prueba de encendido.- El encendido de las briquetas depende mucho de la ventilación o flujo de aire del lugar: En este caso esta prueba se realizó sin mucha ventilación en un ambiente casi controlado para que no cambiase el efecto de las pruebas. Esta prueba consistió en medir la facilidad que tienen las briquetas para encender al colocar una porción de madera de Capirona, Tornillo y Cachimbo (para todos se utilizaron pesos iguales de porción).

Se calificó de la siguiente manera:

- **Enciende.** Cuando al quemarse la porción de madera, las briquetas quedan encendidas hasta consumirse o durante un buen tiempo. Esta prueba se realizó juntando más de dos briquetas.
- **No enciende.** Cuando al consumirse la porción de madera, no se enciendan las briquetas o se encienden y se apagan sin quemar completamente.

Para que el tipo de briketa pase a la etapa de evaluación, éste tuvo que tener una calificación de prueba física excelente, y un encendido que se realice con facilidad.

Etapas de evaluación La etapa de evaluación se realizó en la Universidad Nacional de Ucayali, bajo condiciones controladas. En esta etapa se evaluará la eficiencia y emisiones de diferentes mezclas de briquetas de la especie "Capirona", debido a que ésta tiene ventajas comparativas en relación a las briquetas de "Tornillo" y "Cachimbo". Las evaluaciones a las que se sometieron las briquetas de "Capirona" fueron las siguientes.

Determinación del contenido de humedad

Se tomó 2 g de cada unidad muestral de briketa, disponiéndolo en 3 crisoles de porcelana. Posteriormente entraron a la estufa por 24 hrs. a 104 ± 2 °C

seguidamente se enfriaron en el desecador y después se calculó por diferencia de peso el contenido de humedad. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(Mhc - Msc)100}{Msc}$$

Dónde:

- CH = Contenido de humedad (%).
- Mhc = Masa húmeda o acondicionado de la briqueta
- Msc = Masa seca de las muestras de briquetas

Determinación de la densidad

La densidad se determinó por el principio básico de la relación masa-volumen. Se tomó las medidas de las briquetas y se pesó en masa seca. La siguiente ecuación demuestra la relación de la fórmula:

$$Densidad = \frac{Peso\ seco\ (g)}{Volumen\ de\ la\ muestra\ (cm^3)}$$

Determinación del poder calorífico

Para el poder calorífico se usó el calorímetro IKA C 200, que es un equipo sofisticado que mide el poder calorífico superior en tiempo real. Primero se pesa 1 g de briqueta y se lo introduce en el crisol del equipo. Luego se pone los datos del peso de la muestra en la programación y espera por 8 min para que el equipo lea la muestra y finalmente se ve los resultados en la pantalla. En este caso se programó para que lea en g/cal.

Determinación de la compresión paralela

Para medir la compresión paralela de las briquetas, éstas se sometieron a determinadas fuerzas empleando la Prensa Universal del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

Tratamiento de datos

Para los análisis de los datos se hizo el análisis de varianza (ANVA) para diferencias entre promedios. Luego la prueba de Tukey para poder encontrar diferencia estadística significativa entre media de tratamientos, con un nivel de confianza del 95%. Se utilizó el programa MINITAB como herramienta de software estadístico para el procesamiento de los datos.

III.RESULTADOS

Diseño de la prensa y moldes para la elaboración briquetas ecológicas.

Para el diseño de la prensa se utilizaron listones (ancho x alto) de madera cuyas dimensiones fueron de 40 mm x 100 mm. Las representaciones de la prensa se basaron en estas medidas.

Flujo de producción de briquetas ecológicas.

En la siguiente figura, se muestra que el proceso de producción de briquetas, es sencillo y fácil y no requiere de sofisticada tecnología.

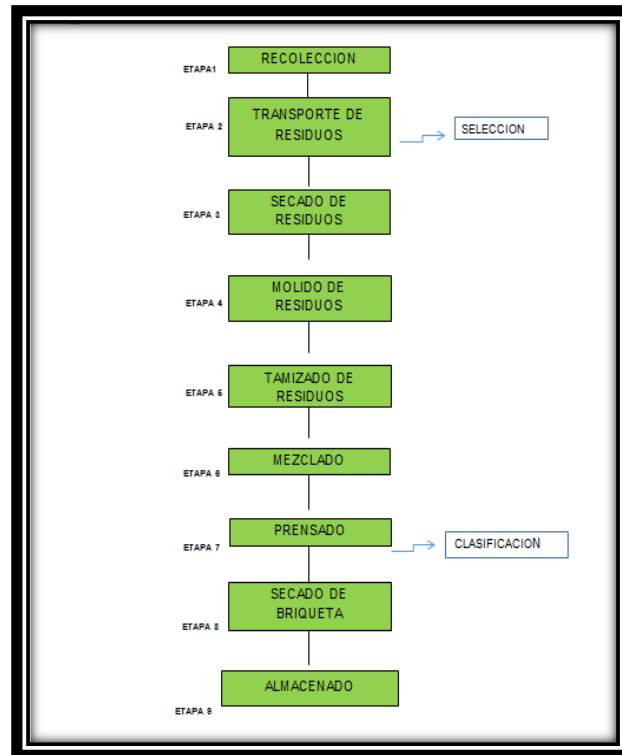


Figura 1. Flujo de producción de briquetas Ecológicas

Composición de briquetas

En las figuras siguientes se muestran la composición de los tipos de briquetas que fueron elaborados y evaluados según rendimiento.

Tabla 4. Proporciones de las briquetas

TIPO DE BRIQ	ESPECIE	ASERRIN		RSO		CASCARILLA		ALMIDON		TOTAL	AGUA
		gr	%	gr	%	gr	%	gr	%		
I	TORNILLO	65	46.4	15	10.7	20	14.3	40	28.6	140	120
II	CACHIMBO	120	67.4	3	1.7	5	2.8	50	28.1	178	100
III	CAPIRONA	100	72.5	3	2.2	5	3.6	30	21.7	138	80
	PROMEDIO		62.1		4.9		6.9		26.1		

En la prueba de encendido que consistió en medir la facilidad que tienen las briquetas en encender, para lo cual se utilizó una cocina pre-fabricada, obteniéndose

excelentes resultados ya que al quemarse las briquetas éstas quedaban encendidas por un tiempo considerable hasta consumirse. El tiempo de ebullición empleando briquetas de “Capirona” es de 5 minutos, mientras que utilizando briquetas de “Tornillo” es el doble del tiempo, es decir, 10 minutos.

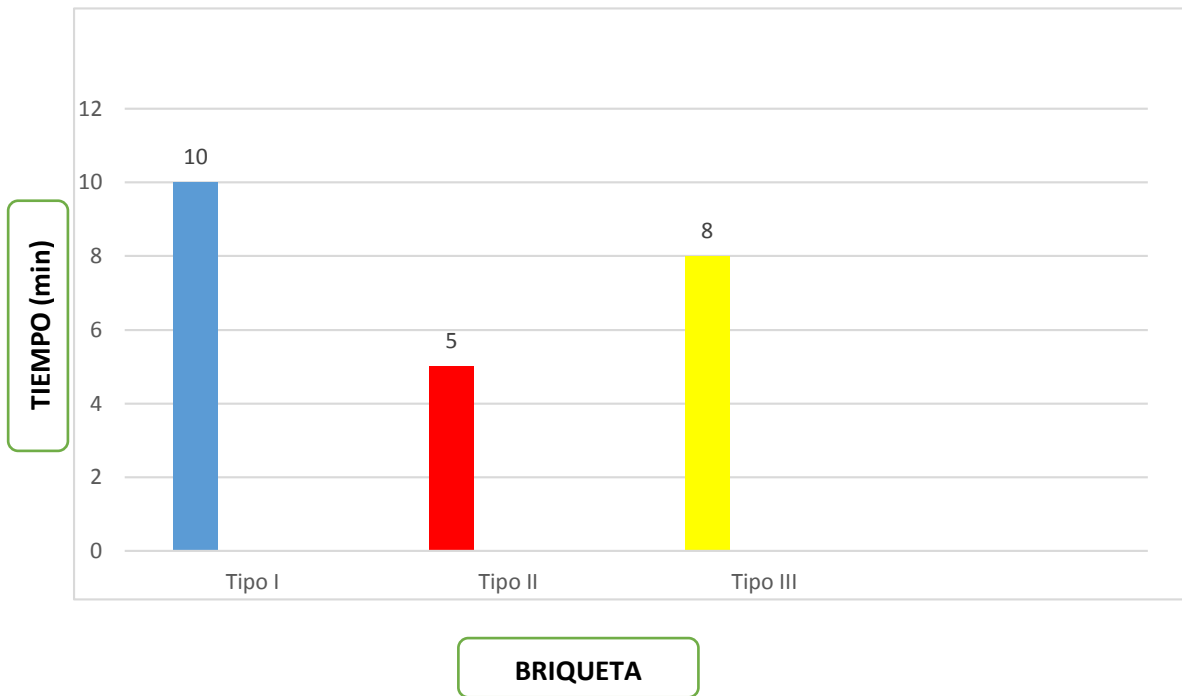


Figura 2. Tiempo de ebullición del agua según tipo de Briqueta (Minutos).

Evaluación del poder calorífico superior

En la tabla 18 se muestran los valores del poder calorífico, el Tratamiento 4 tiene un valor de 4 358,9 kcal/kg, y el Tratamiento 3 obtuvo 4 179,4 kcal/kg

Tabla 5. Poder calorífico de las briquetas

Poder calorífico superior (kcal/kg)					
Tratamiento	Promedio	Máximo	Mínimo	D. Estándar	C.V. (%)
1	4 323,1	4 338,2	4 292,2	281,01	0,42
2	4 228,3	4 240,8	4 199,8	232,07	0,39
3	4 179,4	4 235,5	4 159,8	942,03	0,80
4	4 358,9	4 653,3	4 203,9	26218,83	4,04
Testigo	4 261,1	4 373,7	4 167,4	4686,74	1,75

El análisis de varianza de la Tabla 10 de la evaluación del poder calorífico, indica que no existen diferencias significativas entre los promedios de poder calorífico de los 5 tratamientos de briquetas

Tabla 6. Análisis de varianza (ANVA) en el poder calorífico superior

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	70 275	17 569	2,04	0,141
Error	15	129 443	8 630		
Total	19	199 717			

Emisiones de gases de combustión en briquetas

Como se puede observar en la siguiente tabla, los valores generales de las emisiones no exceden los límites de exposición de las normas internacionales (1998). El monóxido de carbono (CO) encontrado fue de 8%; dióxido de azufre (SO₂) solo el 1% y dióxido de nitrógeno (NO₂) apenas 2% del total del límite máximo de exposición.

Tabla 7. Promedio general de concentración de emisiones

Gases de combustión	Concentración (mg/m ³)	Parte del total de emisiones (%)	Legislación internacional en concentraciones		
			Límite máximo de exposición (mg/m ³)	Tiempo de exposición(horas)	Fuente
Monóxido de carbono (CO)	3	8	40	1	EPA
Dióxido de azufre (SO ₂)	0,05	1	5,2	8	OSHA/ACGIH
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,1	2	5,6	8	ACGIH

Evaluación de las emisiones de monóxido de carbono (CO)

En la Tabla 9 se muestran los valores transformados de emisiones de gases de combustión de las briquetas en g/s. El Tratamiento 1 muestra un valor de 1,30 g/s, mientras que el Testigo con 0.628 g/s.

Tabla 8. Evaluación de las emisiones de CO

Concentración de monóxido de carbono CO (g/s)					
Tratamiento	Promedio	Máximo	Mínimo	D. Estándar	C.V. (%)
1	1,30	1,45	1,19	0,00001	8,26
2	1,16	1,19	1,12	0,00000	2,36
3	1,11	1,28	0,97	0,00002	11,77
4	1,07	1,23	0,86	0,00002	12,59
Testigo	0,628	0,74	0,56	0,000005	11,12

El análisis de varianza de la Tabla 10 de las emisiones de monóxido de carbono indica que existen diferencias significativas entre los promedios de los 5 tratamientos de briquetas.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANVA) para el CO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	0,001	0,000	18,89	0,000
Error	15	0,000	0,000		
Total	19	0,001			

En la Tabla 10 se muestra el resumen de la prueba de Tukey del monóxido de carbono (CO), en donde se deduce que no existe diferencia significativa entre los promedios de los 4 primeros tratamientos. Solo el Testigo se diferencia significativamente, presentando menos emisiones de monóxido de carbono

Tabla 10. Prueba de Tukey para el CO

Factor	N	Media	Agrupación
TIPO 1	4	1,302	A
TIPO 2	4	1,160	A
TIPO 3	4	1,108	A
TIPO 4	4	1,067	A
TESTIGO	4	0,627	B

IV.DISCUCION

Vicente (2017) realizó pruebas con briquetas de cáscara de azúcar, en la cual la briqueta obtuvo 0,35 g/cm³. En el presente estudio, la briqueta del Tratamiento 3 se diferencia significativamente de los demás Tratamientos por contener un valor de 0,47 g/cm³. A su vez, esta densidad sigue siendo mayor a los obtenidos por (**Vicente, 2017**). Esto podría deberse a que se usó mayor presión en la fabricación de la briqueta. Por el contrario el Testigo no resulta conveniente por presentar valores inferiores entre todos los Tratamientos.

En un estudio realizado por **Vicente (2017)** que hizo briquetas de hojas de caña de azúcar y arcilla como aglutinante, contenían: 18,1, 16,8, 14,1 y 8,1 kg/cm² respectivamente. Mientras que en el presente estudio, los Tratamientos 1 y 3 mostraron valores semejantes y son mayores al estudio realizado por (**Vicente, 2017**). Esto podría deberse a que el almidón de yuca es mejor aglutinante que la arcilla y ayuda a una mejor compresión de la briqueta. Por el contrario, los Tratamientos 2, 4 y Testigo, presentaron valores inferiores y no resultan convenientes.

El estudio realizado por **Londoño (1999)**, concluye que las concentraciones circundantes para monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂), están por debajo del límite máximo de exposición según norma EPA (1998) durante una hora de exposición, y explica que esto se debe a las condiciones de aireación. Así mismo, las emisiones de gases de combustión estudiados están por debajo de los límites de exposición que de Londoño, esto también podría deberse al poco exceso de aireación.

En los estudios hechos por **Gamarra (2010)** las emisiones de monóxido de carbono en la briqueta de tipo papel fueron las más elevadas de todas las muestras, emitiendo un promedio 12 gramos de CO por cada 100 gramos de briqueta durante toda la

prueba. Las de menor proporción fueron las de aserrín y papel. El mismo autor indica que se debe a la forma estructural y de combustión que tienen las briquetas. Mientras que en las briqueta del estudio, los Tratamiento 1, 2, 3 y 4 presentaron valores similares con 1.3 g de CO por cada 150 gramos, sin embargo la muestra Testigo se diferenció de los demás tratamientos por presentar menos emisiones, en comparación al estudio hecho por (**Gamarra, 2010**).

Asimismo, **López et al (2016)**, hicieron un estudio de evaluaciones de emisiones de gases en la combustión de siete tipos de briquetas, resultando que la briketa de 60 % de aserrín y 40% papel es la que presenta menores emisiones de monóxido de carbono (CO) con tan solo 0.0015 gramos de CO por cada 100 gramos. Mientras que en el estudio, la briketa de la muestra Testigo emitió 0.6 gramos de emisiones de CO por 150 g, esto podría deberse a que se usó mayor cantidad de aserrín

V. CONCLUSIONES

- De los 4 tipos de briquetas estudiadas, el tipo de briketa 4 obtuvo el mayor valor de poder calorífico (4010.23 kcal/kg) y menor valor en contenido de humedad (8.5%).
- No hubo diferencias significativas en el poder calorífico entre todos los tratamientos.
- En valores del contenido de humedad, el Tratamiento 3 y el Testigo presentaron valores superiores con respecto a los Tratamientos 1, 2 y 4, que presentaron valores similares.
- Los valores del contenido de cenizas, demostraron que el Tratamiento 2 presentó mayores valores, mientras que los Tratamientos 3 y 4 presentaron valores similares, pero superiores al Tratamiento 1 y al Testigo.

- En la densidad, el Tratamiento 3 presentó mayores valores de entre todos, mientras que los Tratamientos 2 y 4 presentaron valores similares, pero superiores al Tratamiento 1 y al Testigo.
- En la resistencia a la compresión paralela, los Tratamientos 1 y 3 presentaron valores superiores. Los Tratamientos 2 y 4 presentaron valores intermedios y el Testigo presentó menor resistencia a la compresión paralela, con 16.7 kg/cm².
- En las emisiones de monóxido de carbono (CO), los Tratamientos 1, 2, 3 y 4 presentaron valores similares, mientras que el Testigo fue el único que se diferenció de los demás tratamientos por presentar valores inferiores en emisiones de CO, con 0.063 g/s.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar diferentes tipos de mezclas con mayor porcentaje de cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos domésticos, para evaluar si el poder calorífico aumenta y afecta en las emisiones de gases de combustión.
- Usar prensas hidráulicas de mayor presión (>10000 kg/cm²) para elevar la densidad de briquetas y llegar hasta una densidad promedio de 1000 g/cm³.
- Realizar tratamientos de briquetas con otros componentes orgánicos, tales como cáscara de coco, cáscara de caña de azúcar, entre otros; ya que estos residuos existe en mayor cantidad en la región Ucayali.
- Hacer estudios de viabilidad económica en el presente estudio para su comercialización como producción, transporte, costos y comercialización.

VII. AGRADECIMIENTO

- A los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental que participaron en el proyecto, en calidad de practicantes y tesisistas.

VIII.REFERENCIAS

- Alama, M. E. (2014). Diseño de Proceso y de Planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín .
- Arce, D. D. (2013). Proyecto de Creación de una Fábrica de Briquetas de Aserrín en Santa Rosa del Aguaray. Santa Rosa del Araguay
- Barrera, J. (2010). Briquetas: La mejor forma de reutilizar los residuos forestales. En Revista M y M (págs. 66-73).
- Cals, D. (1988). Biomasa, biocombustives, bioenergía. Brasil–Ministerio de Minas y Energía. Brasil.
- Chujutalli, J., & Sánchez, J. (2011). Estudi de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de briquetas a partir de los residuos de la actividad agroindustrial. Tarapoto: César Vallejo.
- Da Silva, A. (2013). Proyecto de Creación de una fábrica de briquetas de aserrín en Santo Rosa del Aguay. Santa Rosa del Aguaray, Paraguay.
- FAO. (2000). El cultivo de arroz, un producto alimenticio a nivel mundial. Boletín informativo Vol III.
- FAO. (2014). Bioenergía y Seguridad Alimentaria. Manual de Usuario: Briquetas. USA: FAO.
- Fonseca, E., & Tierra, L. (2011). Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre. Riobamba, Ecuador: Escual Superior Técnica de Chimborazo.
- Gallipoliti, V., & García, E. (2015). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. Corrientes, Argentina: Universidad Nacional de Nordeste.

- Gamarra, L. (2010). Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña. Zamorano, Honduras.
- García, M. (2014). Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín. Piura: Universidad de Piura.
- Gonzales, E. (1990). Industrias Forestales II. Guia de practica. Universidad Nacional Agraria la Molina. Dpto. De Industrias Foretales. Lima.
- Grover, P., & Mishra, S. (1996). Regional Food Energy Deveploment Programme in Asia: Biomass Briquetting in Technology and Practices. Bangkok, Thailand: FAO.
- Guevara, L., Reyes, P., & Bocanegra, L. (1995). Evaluación de residuos de aserrío. Folia Amazónica, 5, 191-201.
- Guillen, V., & Poggui, J. (2014). Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. Saber y Hacer, 88-123.
- Hernández, J. (2011). Estudio Técnico para la obtención de briquetas de facil encendido a partir de carbon de cascarilla de palma africana y su producción en la empresa Tysai S.A. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .
- Londoño, G. (1999). Gases de combustión de briquetas de carbón de fácil encendido.
- López, J., Cajina, C., Ramirez, U., Reyes, E., Olivas, N., & Molina, L. (29 de Enero de 2016). Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la máquina briquetadora construida en FAREM-Estelí. Revista Científica de FAREM-Estelí, 4, 3-14.

- Mathews, J. (29 de Enero de 2016). Problemática de manejo de residuos sólidos en Ucayali. Pucallpa, Coronel Portillo, Perú.
- Rojas, S. (2008). Producción del arroz. Lima: Universidad San Martín de Porres.
- Ruiz, A. (2004). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) para la Provincia de Coronel Portillo. Pucallpa.
- Saboya, G. (2010). Análisis técnico y económico en la producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla king*) en cámara de sub-irrigación, Pucallpa, Perú”. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Testo. (2010). Gases de combustión. Estados Unidos.
- Valderrama, A., Curo, H., Quispe, C., Llantoy, V., & Gallo, J. (2013). Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT, 26-34.
- Velasquez, A. V. (2014). *Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Valledupar.*
- Vicente, J. (2017). Estudio de la influencia del porcentaje de arcilla en la calidad de las briquetas de hojas de caña de azúcar mediante ensayos físicos y térmicos. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.