

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE GASES EN LA COMBUSTIÓN
DE BRIQUETAS ELABORADAS A BASE DE RESIDUOS DE ASERRÍN
DE CAPIRONA, CASCARILLA DE ARROZ Y RESIDUOS SÓLIDOS
ORGÁNICOS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
BACH. SEGUNDO ULISES PINCHI RUIZ**

PUCALLPA – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES



COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 62

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:15 horas del día 11 de abril de 2018, se reunieron en la sala de docentes de la Universidad Nacional de Ucayali, los miembros del jurado calificador integrado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal : Presidente

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza : Miembro

Ing. M.Sc. Iván Salvador Cárdenas : Miembro

Para evaluar la sustentación de tesis “Cuantificación de emisiones de gases en la **combustión de briquetas elaboradas a base de residuos de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos**” presentado por el Bach. Segundo Ulises Pinchi Ruiz.

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado calificador, siendo absueltas satisfactoriamente por el sustentante, según por la cual la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**, en el calificativo de muy bueno.

Por lo que se declara apto para obtener el título de Ingeniero Ambiental, siendo asesor de tesis el Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón. A las 12:30 pm, se dio por concluido el acto académico.

.....
Dr. Carlos Panduro Carbajal
Presidente

.....
Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Miembro

.....
Ing. M.Sc. Manuel Iván Salvador Cárdenas
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el jurado evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, integrado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal

.....
Presidente

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza

.....
Miembro

Ing. M.Sc. Manuel Iván Salvador Cárdenas

.....
Miembro

Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón

.....
Asesor

Ing. Jenny Zeña Rubio

.....
Co-Asesora

Bach. Segundo Ulises Pinchi Ruiz

.....
Tesista

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud, sabiduría y paciencia durante todo este tiempo para lograr esta meta. A mis padres, Ulises Vences Pinchi Pinchi y Nohemí Ruiz García, ya que por ellos he alcanzado muchas cosas en la vida y ahora me toca devolverles con un granito de arena el fruto de mi esfuerzo y dedicación, ya que esto es solo el comienzo para brindarles todo lo que se merecen.

A mis hermanos Keny, César, Ivonne y Katia que me motivaron de manera incondicional a ser mejor cada día con sus ejemplos y experiencia de cada uno.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por darme salud para poder lograr todos mis objetivos a lo largo de mi vida y por cuidar de mí en todo momento, ya que sin Él no somos nada.
- A mi familia, a mis padres, Ulises Vincés Pinchi Pinchi, Nohemí Ruiz García, a mi hermanos, Keny, César, Ivonne y Katia, que en todo momento me apoyaron tanto moral como económicamente para lograr este objetivo y por la paciencia que tuvieron conmigo durante este trabajo.
- A mi asesor Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón, por darme la motivación y su apoyo como tutor y asesor técnico en este trabajo, ya que fue por él que me permití realizar esta tesis.
- El presente estudio se hizo en el marco del proyecto de la Universidad Nacional de Ucayali, “Diseño y eficiencia de briquetas elaboradas a partir de residuos sólidos orgánicos, aserrín y cascarilla de arroz”
- A mi coasesora, Ing. Jenny Rubio Zeña por enseñarme sus conocimientos profesionales como ingeniera ambiental, ya que es la profesión a la que aspiro.
- A mi novia Aida María Galán Fasanando, por su apoyo incondicional, paciencia y motivación que tuvo en todo momento para realizar la tesis, ya que también me ayudó mucho en el desarrollo de este trabajo.
- A mis amigos y demás personas, a todos mis amigos que también me apoyaron para realizar esta tesis y por darme su motivación cada día.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Formulación del problema.....	3
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Fundamento teórico del problema.....	7
2.2.1. Producción del aserrín en la región Ucayali	7
2.2.2. Situación de los residuos sólidos en Ucayali	8
2.2.3. Producción de arroz.....	10
2.2.4. Bioenergía: La energía de la biomasa	11
2.2.5. La tecnología de las briquetas	12
2.2.6. Emisiones de gases de combustión.....	15
2.2.7. Legislación internacional sobre las emisiones de gases contaminantes	16
2.2.8. Poder calorífico.....	19
2.2.9. Humedad de la briqueta.....	21
2.2.10. Contenido de cenizas	22
2.2.11. Densidad en las briquetas	23
2.2.12. Análisis de resistencia	25
2.3. Definición de términos básicos	26
METODOLOGÍA	31
3.1. Método de la investigación.....	31
3.1.1. Lugar de ejecución	31
3.1.2. Diseño de investigación	31

3.2. Población y muestra	31
3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	31
3.3.1. Materiales	31
3.3.2. Equipos	32
3.3.3. Herramientas de Software para procesamiento de datos.....	32
3.4. Procedimiento para la recolección de datos.....	32
3.4.1. Composición y característica de las briquetas	32
3.4.2. Recolección de residuos.....	33
3.4.3. Secado y molienda de los residuos	34
3.4.4. Fabricación de briquetas.....	34
3.4.5. Acondicionamiento de briquetas	35
3.4.6. Análisis de los gases de combustión con Testo 340	35
3.4.7. Determinación del poder calorífico.....	36
3.4.8. Determinación del contenido de humedad.....	36
3.4.9. Determinación del contenido de cenizas.....	37
3.4.10. Determinación de la densidad aparente.....	37
3.4.11. Determinación de la compresión paralela	38
3.5. Tratamiento de datos	38
3.5.1. Tratamiento de datos de emisiones de gases de combustión	39
3.5.2. Tratamiento de datos del poder calorífico	40
3.5.3. Tratamiento de datos del contenido de humedad	40
3.5.4. Tratamiento de datos del contenido del contenido de cenizas y densidad aparente	40
3.6.5. Tratamiento de datos de la compresión paralela	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41

4.1. Emisiones de gases de combustión en briquetas	41
4.2. Evaluación de las emisiones de monóxido de carbono (CO)	42
4.2. Evaluación de las emisiones de dióxido de azufre (SO ₂)	43
4.3. Evaluación de las emisiones de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	45
4.4. Evaluación del poder calorífico	47
4.5. Evaluación del contenido de humedad.....	48
4.6. Evaluación del contenido de cenizas	50
4.7. Evaluación de la densidad de las briquetas	51
4.8. Evaluación de la compresión paralela.....	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	62
ICONOGRAFÍA.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación de residuos sólidos del ámbito no municipal en Pucallpa.....	8
Tabla 2. Composición física de los residuos sólidos de la ciudad de Pucallpa expresada en porcentaje (%)	9
Tabla 3. Contaminantes químicos más frecuentes clasificados por su procedencia	17
Tabla 4. Valores de referencia de calidad del aire exterior según EPA	18
Tabla 5. Valores de referencia y concentraciones aconsejadas para algunos contaminantes ambientales industriales.	18
Tabla 6. Composición de las briquetas	33
Tabla 7. Esquema de observaciones en campo de los tratamientos de briquetas	39
Tabla 8. Esquema ANVA	39
Tabla 9. Promedio general de concentración de emisiones	41
Tabla 10. Evaluación de las emisiones de CO	42
Tabla 11. Análisis de varianza (ANVA) para el CO	42
Tabla 12. Prueba de Tukey para el CO	43
Tabla 13. Evaluación de las emisiones de SO ₂	44
Tabla 14. Análisis de varianza (ANVA) del SO ₂	44
Tabla 15. Prueba de Tukey para el SO ₂	44
Tabla 16. Evaluación de emisiones del NO ₂	45
Tabla 17. Análisis de varianza (ANVA) del NO ₂	46
Tabla 18. Prueba de Tukey para el NO ₂	46
Tabla 19. Poder calorífico de las briquetas	47
Tabla 20. Análisis de varianza (ANVA) en el poder calorífico superior	47
Tabla 21. Contenido de humedad de las briquetas	48
Tabla 22. Análisis de varianza (ANVA) del contenido de humedad	48
Tabla 23. Prueba de Tukey para el contenido de humedad	49
Tabla 24. Determinación de contenido de cenizas	50
Tabla 25. Análisis de varianza (ANVA) para contenido de cenizas	50
Tabla 26. Prueba de Tukey para contenido de cenizas.....	51
Tabla 27. Determinación de la densidad	52

Tabla 28. Análisis de varianza (ANVA) para la densidad aparente	52
Tabla 29. Prueba de Tukey para la densidad aparente	52
Tabla 30. Determinación de la resistencia a la compresión paralela	53
Tabla 31. Análisis de varianza (ANVA) de la resistencia a la compresión paralela	54
Tabla 32. Prueba de Tukey para la resistencia a la compresión paralela.....	54
Tabla 33. Evaluación del monóxido de carbono (CO) en la combustión de briquetas .	62
Tabla 34. Evaluación del dióxido de azufre (SO ₂) en la combustión de briquetas	62
Tabla 35. Evaluación del dióxido de nitrógeno (NO ₂)	62
Tabla 36. Evaluación del contenido de cenizas.....	63
Tabla 37. Evaluación de la densidad aparente.....	63
Tabla 38. Resultados de la resistencia a la compresión paralela	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnología de las briquetas	15
Figura 2. Mecanismos de enlace	26
Figura 3. Diagrama de los gases evaluados con el Testó 340 y leídos por el programa Testo Emission de la briqueta BQC-111	76
Figura 4. Diagrama de los gases evaluados con el Testó 340 y leídos por el programa Testo Emission de la briqueta BQC-225	78
Figura 5. Diagrama de los gases evaluados con el Testó 340 y leídos por el programa Testo Emission de la briqueta BQC-326	80
Figura 6. Diagrama de los gases evaluados con el Testó 340 y leídos por el programa Testo Emission de la briqueta BQC-419	82
Figura 7. Diagrama de la compresión paralela en la briqueta BQC_220, ...	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados en promedio de los gases de combustión y de las demás propiedades así como su análisis de varianza ANVA y prueba Tukey.	62
Anexo 2. Conversión de datos de CO (ppm) a la proyección para el programa ALOHA en mg/m ³	64
Anexo 3. Conversión de datos de SO ₂ (ppm) a la proyección para el programa ALOHA en mg/m ³	66
Anexo 4. Conversión de datos de NO ₂ (ppm) a la proyección para el programa ALOHA en mg/m ³	68
Anexo 5. Formatos de pre-evaluación de las briquetas <i>in situ</i>	70
Anexo 6. Formatos de evaluación y diagramas de algunas briquetas para gases de combustión <i>in situ</i>	75
Anexo 7. Formatos para determinar la humedad	84
Anexo 8. Formatos para determinar el contenido de cenizas	87
Anexo 9. Formato para determinar la densidad.....	90
Anexo 10. Formato para determinar el poder calorífico	91
Anexo 11. Diagrama para determinar la compresión paralela	92
Anexo 12. Datos procesados de todas las variables, incluido los promedios, valores máximos y mínimos y desviación estándar	93
Anexo 13. Documentos de informes del Laboratorio Intertek sobre la evaluación in situ de los gases de combustión.....	101

ÍNDICE DE FOTOS

Fotografía 1. Briquetas de los cuatro tratamientos en proceso de secado	104
Fotografía 2. Preparación y acondicionamiento de las briquetas	105
Fotografía 3. Pesado de muestras en la balanza analítica	105
Fotografía 4. Salida de crisoles para determinar la humedad	105
Fotografía 5. Programación de la mufla para el contenido de cenizas	106
Fotografía 6. Cenizas de briquetas después de salir de la mufla	106
Fotografía 7. Uso del calorímetro IKA C 200	106
Fotografía 8. Acondicionamiento de la briqueta en cocina	107
Fotografía 9. Prendido de la briqueta	107
Fotografía 10. Equipos y materiales completos para la evaluación de gases	107
Fotografía 11. Gases emitidos por la combustión de briquetas	108
Fotografía 12. Briqueta carbonizada después de la combustión	108
Fotografía 13. Equipo Testo 340 para emisiones de gases	108

RESUMEN

La presente investigación se realizó en las instalaciones del taller de carpintería y en el laboratorio de Transformación Química de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali. El objetivo fue evaluar los gases en la combustión de cuatro tratamientos de briquetas elaboradas con aserrín de *calycophyllum spruceanum* (capirona), cascarilla de arroz y residuos orgánicos domésticos; su poder calorífico y sus propiedades físicas (resistencia, humedad, densidad) y químicas (cenizas). Para evaluar los gases de combustión se quemaron las briquetas y se usó el equipo Testo 340 para determinar la cantidad de gases en g/m^3 . Para el resto de las propiedades se usaron metodologías de laboratorio. Se usó el análisis de varianza (ANVA), y la prueba de Tukey. Por lo que el Testigo emitió menores cantidades de CO y SO₂, con 0,6 g/s y 0,012 g/s respectivamente. El Tratamiento 2 emitió menores cantidades de NO₂ con 0,022 g/s. En el poder calorífico no hubo diferencia significativa en los Tratamientos por lo que todos presentaron valores similares. 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/cm^3 . Los Tratamientos 1 y 3 presentaron valores similares pero superiores en resistencia a la compresión paralela. Todas las emisiones de CO, SO₂ y NO₂ no sobrepasaron los límites de exposición de las normas EPA, OSHA y ACGIH.

Palabras clave. Gases de combustión, poder calorífico, propiedades físicas y químicas

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the facilities of the carpentry workshop and in the laboratory of Chemical Transformation of the Wood of the National University of Ucayali. The objective was to evaluate the gases in the combustion of four briquette treatments made with sawdust of *calycophyllum spruceanum* (capirona), rice husks and domestic organic waste; its calorific value and its physical (resistance, humidity, density) and chemical (ash) properties. 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. Analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test were used. Therefore, the control emits lower amounts of CO and SO₂, with 0,6 g/s and 0,012 g/s respectively. Treatment 2 emitted lower amounts of NO₂ with 0,022 g/s. In the calorific power there was no significant difference in the treatments, so all presented similar values. 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 superior values in parallel compressive strength. All CO, SO₂ and NO₂ emissions did not exceed the exposure limits of the EPA, OSHA and ACGIH standards.

Keywords. Combustion gases, calorific value, physical and chemical properties

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tipos de combustibles provenientes de distintos materiales residuales, conocidos como biomasa, cascarilla de arroz, caña de azúcar, pulpa de papel, cáscara de coco, cartón, aserrín, entre otros; usados por la industria para generar energía; y precisamente, uno de estos productos son las briquetas, un tipo de biocombustible fabricado a partir de residuos o desperdicios de productos orgánicos que son debidamente triturados y compactados, para generar energía calórica.

La producción total de arroz cáscara en el 2009 para Ucayali fue de 29 180,24 toneladas (MINAG, 2010) y que solo en el proceso del pilado se obtienen ingresos por encima de S/. 437 703,60 por año. Además, se genera un residuo abundante denominado “cascarilla de arroz” el cual significa un 30 % del peso total (Rojas, 2008) de arroz pilado, es decir 8 964,72 toneladas por año de residuo de cascarilla de arroz. Frente a esta problemática es necesario buscar y dar el uso oportuno y adecuado, contrariamente es posible que se convierta en un contaminante ambiental.

En la ciudad de Pucallpa se generan 14,5 ton/día (Mathews, 2016) de residuos de todo tipo de diferentes fuentes tales como industrias, hospitales y restaurantes sobre todo. Se ve con certeza que la producción de residuos orgánicos de los restaurantes y domicilios son llevados al botadero del km 22 de la Carretera Federico Basadre, las cuales no tiene una transformación en otros productos.

La producción de aserrín solo es utilizado en pequeñas proporciones, y deja grandes volúmenes sin ser usado o industrializado, entonces se genera un impacto ambiental directo a las fuentes de agua por lixiviados y contaminación atmosférica en las periferias de las empresas de aserrío, atentando con la salud pública de la población. También los residuos agroindustriales y residuos orgánicos de origen doméstico crean impacto ambiental al no ser usados de la mejor manera, siendo focos infecciosos para animales vectores tales como ratas y zancudos producto de la acumulación de aguas pluviales en los residuos.

Son por estas razones de impacto ambiental negativo a las fuentes de agua y la salud pública se fabrican las briquetas, que para este estudio están hechas a base de residuos de aserrín, cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos de origen doméstico, con diferentes tipos de mezclas para cada tratamiento. Así se genera la intención de ofrecer un producto limpio y con la finalidad de reciclar los residuos de aserrín y residuos agroindustriales y domésticos.

El objetivo general fue evaluar las emisiones de gases contaminantes en la combustión de las briquetas de diferentes proporciones en su composición (tratamientos) para demostrar que son limpias y están por debajo de los parámetros permitidos.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en la combustión de briquetas elaboradas a base de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos orgánicos (cascara de maíz, cascara de plátano, cáscara de yuca, cáscara de arveja).
2. Evaluar el poder calorífico y propiedades físicas (compresión, humedad, densidad) y químicas (cenizas) de las briquetas elaboradas a base de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos orgánicos (cascara de maíz, cascara de plátano, cáscara de yuca, cáscara de arveja).

Se quiere demostrar que el producto briqueta del estudio no contamina ni atenta contra la salud pública de la población, ya que los gases de combustión que se emiten por la quema de las briquetas pueden estar por debajo de las normas internacionales en temas de fuentes de contaminación atmosférica por la exposición de los gases de combustión. Además el producto briqueta puede ofrecer los parámetros físicos y químicos estandarizados que pueden ofrecer la confianza de usarla para el uso doméstico e industrial.