

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**



**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO
BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL
RESIDUO CASCARILLA CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

AUTORES:

PÉREZ SÁNCHEZ, MELISSA ANDREA
TORPOCO CANO, EVELYN STEFFANY

Two handwritten signatures in blue ink, corresponding to the authors listed.

ASESOR:

Ms.C. ALIAGA MARTÍNEZ MARÍA PAULINA

A handwritten signature in blue ink, corresponding to the advisor listed.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2022

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



IV CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 001-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 72 ACTA N°001-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 12 días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 8:07 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/rdm-ukyy-grv>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Mg.	Teófilo Allende Ccahuana	: Presidente
Dr.	José Pablo Rivera Rodríguez	: Secretario
Mtro.	Américo Carlos Milla Figueroa	: Vocal
Mtro.	Abner Josué Vigo Roldan	: Suplente
MC.	María Paulina Aliaga Martínez	: Asesora

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las Bachilleres Melissa Andrea Pérez Sánchez y Evelyn Steffany Torpoco Cano, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Bueno y calificación cuantitativa QUINCE (15) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 09:11 horas del día sábado 12 de noviembre del año en curso.

Presidente

Secretario

Vocal

Asesora

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN”

AUTOR (ES):

PÉREZ SÁNCHEZ, MELISSA ANDREA.

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4153-8512. DNI: 72854343

TORPOCO CANO, EVELYN STEFFANY.

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7288-199X. DNI: 75212908

ASESOR:

Ms.C. ALIAGA MARTÍNEZ MARÍA PAULINA.

CÓDIGO ORCID: 000-0003-2767-4825. DNI: 08663264

LUGAR DE EJECUCIÓN:

LABORATORIOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ESPECIALIZACIÓN EN AGROINDUSTRIA (IIEA).

UNIDAD DE ANÁLISIS:

BRIQUETAS ELABORADAS A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: 2.09.03 – BIOCOMBUSTIBLES

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso que doy, a mis padres por su amor, sacrificio y apoyo incondicional, a mi hermana por ser pieza fundamental para seguir adelante y a una persona muy especial en mi vida que fue mi soporte emocional día a día.

Evelyn Steffany Torpoco Cano

A Dios, porque grande es su fidelidad y su amor me sostiene cada día.

A mi Madre, por su amor, su apoyo incondicional y por haberme inculcado valores y principios que me convirtieron en la persona que soy hoy en día.

A mi Padre, mi ángel eterno, por haber creído y confiado en mí, siempre llevo conmigo sus palabras de motivación y aliento.

A mi hermano, familiares y amigos, por estar presente en cada paso que doy, en los buenos y complicados momentos.

Melissa Andrea Pérez Sánchez

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser luz en nuestras vidas y brindarnos fuerzas para no rendirnos ante las adversidades.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por compartirnos sus conocimientos y experiencias durante nuestra formación profesional, en especial a la Asesora Ms.C. María Paulina Aliaga Martínez por habernos orientado y apoyado en el desarrollo de la presente investigación.

A nuestro jefe Mariano López Carrillo, su apoyo y comprensión fueron de vital importancia.

Al Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria (IIEA), por permitirnos el acceso y uso de laboratorios que hicieron posible el desarrollo experimental de la investigación.

De igual manera, a la empresa caficultora Aromas de Monzón S.A.C. por facilitarnos la biomasa para la elaboración de briquetas.

Finalmente, a nuestros familiares y amigos, quienes constituyen un pilar fundamental, siendo nuestro soporte emocional para la culminación del presente estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	1
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 Descripción de la realidad problemática	14
1.2 Formulación del problema.....	18
1.2.1 Problema general.....	18
1.2.2 Problemas específicos	18
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Justificación	19
1.5 Delimitantes de la investigación.....	20
1.5.1 Teórica.....	20
1.5.2 Temporal.....	20
1.5.3 Espacial	21
II. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Internacionales.....	22
2.1.2 Nacionales	25
2.2 Bases teóricas	28

2.2.1	Biomasa.....	28
2.2.2	Cascarilla de café	28
2.2.3	Biocombustibles.....	31
2.2.4	Clasificación de los biocombustibles.....	31
2.2.5	Tecnología de biocombustibles sólidos densificados.....	34
2.2.6	Briquetas.....	36
2.2.7	Aglutinante	37
2.2.8	Calidad de las briquetas.....	38
2.3	Marco conceptual.....	43
2.4	Definición de términos básicos	44
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	47
3.1	Hipótesis	47
3.1.1	Hipótesis general	47
3.1.2	Hipótesis específicas	47
3.2	Operacionalización de variables	48
IV.	METODOLOGÍA	49
4.1	Diseño metodológico.....	49
4.2	Método de investigación	51
4.2.1	Materiales, insumos y equipos.....	51
4.2.2	Procedimiento	55
4.3	Población y muestra.....	68
4.3.1	Población	68
4.3.2	Muestra	68
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	68
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	69
4.5.1	Técnica	69

4.5.2	Instrumentos de medición	69
4.6	Análisis y procesamiento de datos.....	70
4.7	Aspectos éticos en investigación	74
V.	RESULTADOS.....	75
5.1	Resultados descriptivos	75
5.1.1	Resultados de la caracterización fisicoquímica y energética del residuo cascarilla de café	76
5.1.2	Resultados de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas	76
5.1.3	Resultados de las propiedades energéticas de las briquetas	81
5.1.4	Prueba de la hipótesis específica 1	82
5.2	Resultados inferenciales	84
5.2.1	Prueba de la hipótesis específica 2	84
5.2.2	Prueba de la hipótesis específica 3	92
5.2.3	Prueba de la hipótesis específica 4	93
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	95
6.1.1	Contrastación y demostración de la hipótesis general con los resultados	95
6.1.2	Contrastación y demostración de la hipótesis específica con los resultados.....	95
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	97
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	99
VII.	CONCLUSIONES	100
VIII.	RECOMENDACIONES.....	101
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXOS	113
	Anexo 1: Matriz de consistencia.....	113

Anexo 2: Ficha de recolección de datos	114
Anexo 3: Instrumentos validados	115
Anexo 4: Consentimiento informado	123
Anexo 5: Base de datos	124
Anexo 6: Métodos y especificaciones técnicas de los equipos para análisis proximal y análisis de contenido energético.....	133
Anexo 7: Registro fotográfico	141

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de la biomasa.....	28
Tabla 2	Rangos según literatura para la caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café	31
Tabla 3	Clasificación de biocombustibles sólidos	33
Tabla 4	Condiciones para la elaboración de briquetas según la NTC 2060....	37
Tabla 5	Clasificación de aglutinantes.....	38
Tabla 6	Parámetros de calidad de briquetas, valores guía, estándares de prueba y equipo	40
Tabla 7	Matriz de operacionalización de variables.....	48
Tabla 8	Representación del arreglo experimental completamente al azar.....	50
Tabla 9	Materiales, insumos y equipos	51
Tabla 10	Composición de la mezcla a diferentes proporciones	61
Tabla 11	Consistencia de la mezcla en función de la temperatura del agua ..	62
Tabla 12	Cantidad de agua requerida en la proporción de mezcla	63
Tabla 13	Dimensión promedio de las briquetas en función a su proporción ...	65
Tabla 14	Técnica.....	69
Tabla 15	Método e instrumentos de medición.....	70
Tabla 16	Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.....	71
Tabla 17	Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene	72
Tabla 18	Resultados fisicoquímicos y energéticos de la cascarilla de café y briquetas	75
Tabla 19	Caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café .	76
Tabla 20	Contenido de humedad en las briquetas.....	77
Tabla 21	Contenido de ceniza en las briquetas	78
Tabla 22	Contenido de materia volátil en las briquetas.....	79
Tabla 23	Contenido de carbono fijo en las briquetas	80
Tabla 24	Densidad aparente de las briquetas.....	81
Tabla 25	Contenido de poder calorífico en las briquetas	82
Tabla 26	Caracterización fisicoquímica y energética del residuo cascarilla de café	83

Tabla 27	Intervalos de confianza para la media de poder calorífico (95%)	84
Tabla 28	Análisis de varianza para el poder calorífico	85
Tabla 29	Prueba de comparaciones múltiples para poder calorífico	85
Tabla 30	Intervalos de confianza para la media del contenido de humedad (95%)	86
Tabla 31	Análisis de varianza para el contenido de humedad	86
Tabla 32	Intervalos de confianza para la media del contenido de materia volátil (95%)	87
Tabla 33	Análisis de varianza para el contenido de materia volátil	87
Tabla 34	Intervalos de confianza para la media de carbono fijo (95%)	88
Tabla 35	Análisis de varianza para el carbono fijo	88
Tabla 36	Prueba de comparaciones múltiples para carbono fijo	89
Tabla 37	Intervalos de confianza para la media del contenido de ceniza (95%)	89
Tabla 38	Pruebas de Kruskal Wallis para contenido de ceniza	90
Tabla 39	Prueba de comparaciones múltiples para ceniza	90
Tabla 40	Intervalos de confianza para la media de densidad aparente (95%)	91
Tabla 41	Pruebas de Kruskal Wallis para la densidad aparente	91
Tabla 42	Resumen de pruebas estadísticas para el análisis de la calidad de las briquetas	92
Tabla 43	Resultados de la prueba de hipótesis unilateral para los parámetros fisicoquímicos	93
Tabla 44	Resultados de la prueba de hipótesis unilateral para el poder calorífico	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de una cereza de café	29
Figura 2 Diagrama de flujo para la obtención de granos de café	30
Figura 3 Proceso de moldeo de biomasa y sus fuerzas de formación mecánica	35
Figura 4 Modelo analítico del diseño unifactorial	49
Figura 5 Etapas para la evaluación de la calidad de las briquetas.....	56
Figura 6 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de briquetas	59
Figura 7 Actividades desarrolladas en el subproceso de molienda.....	60
Figura 8 Actividades desarrolladas en el subproceso de tamizado.....	61
Figura 9 Determinación del peso de la biomasa y aglutinante	62
Figura 10 Ensayos para determinar la temperatura apropiada del agua	63
Figura 11 Ensayos para determinar la cantidad de agua en la mezcla.....	64
Figura 12 Preparación de la mezcla.....	64
Figura 13 Prensado de la mezcla para la obtención de briquetas.....	65
Figura 14 Briquetas compactadas.....	66
Figura 15 Secado de briquetas	66
Figura 16 Briquetas obtenidas mediante el subproceso de secado	67
Figura 17 Elección del análisis estadístico.....	72
Figura 18 Comparación de humedad con la norma NTC 2060.....	77
Figura 19 Comparación de la ceniza con la norma NTC 2060.....	78
Figura 20 Comparación de la materia volátil con la norma NTC 2060	79
Figura 21 Resultados del carbono fijo.....	80
Figura 22 Densidad aparente de las briquetas.....	81
Figura 23 Comparación del poder calorífico con la norma NTC 2060.....	82
Figura 24 Cascarilla de café generada en la empresa Aromas de Monzón S.A.C.	141
Figura 25 Cascarilla de café.....	141
Figura 26 Determinación del contenido de humedad de la cascarilla de café	142
Figura 27 Determinación del contenido de cenizas de la cascarilla de café ..	143
Figura 28 Determinación de la densidad aparente de la cascarilla de café ...	144

Figura 29 Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 50/50	144
Figura 30 Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 70/30	145
Figura 31 Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 90/10	145
Figura 32 Briquetas con proporción de 50/50 y 70/30.....	146
Figura 33 Briquetas con proporción de 90/10	146
Figura 34 Briquetas con proporción de 50/50 y 70/30 después del proceso de secado	147
Figura 35 Briquetas con proporción de 90/10 después del proceso de secado	147
Figura 36 Determinación de la densidad aparente de las briquetas	148
Figura 37 Encendido de briquetas	149
Figura 38 Muestra de cascarilla de café para su análisis en laboratorio	150
Figura 39 Preparación de muestras para su análisis proximal y energético ..	150

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Agl.:	Aglutinante
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
CC:	Cascarilla de Café
CEN:	Comité Europeo de Normalización
CF:	Carbono Fijo
CU:	Consejo Universitario
DA:	Densidad Aparente
EGAM:	Estufa Gasificadora de Alimentación Múltiple
H:	Humedad
IIEA:	Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria
LER:	Laboratorio de Energías Renovables
MV:	Materia Volátil
NTC:	Norma Técnica Colombiana
PC:	Poder Calorífico
PSI:	Libra por Pulgada Cuadrada
SNI:	Estándar Nacional de Indonesia

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón. El estudio fue de tipo aplicada, con un diseño experimental factorial, donde se utilizó 25 kg de cascarilla de café provenientes de la zona cafetalera del Valle del Monzón. La investigación se desarrolló en cuatro etapas; (I): caracterización de la cascarilla de café en función de sus parámetros fisicoquímicos y energéticos, (II): elaboración de briquetas con proporciones de 50/50, 70/30 y 90/10 (cascarilla de café/aglutinante), esta etapa estuvo conformada por cinco subprocesos como la molienda, el tamizado hasta la obtención de partículas iguales o menores a 1 mm, la preparación de la mezcla, la densificación a una presión de 44.96 PSI y el secado en la estufa durante 4 días, (III) determinación de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas (contenido de humedad, materia volátil, carbono fijo, cenizas y densidad aparente) y (IV) determinación de las propiedades energéticas, en específico el poder calorífico. Los resultados obtenidos mostraron que todos los parámetros fisicoquímicos y energéticos evaluados se encontraron dentro de los estándares establecidos en la norma técnica colombiana NTC 2060, con excepción del contenido de humedad y materia volátil. Asimismo, las proporciones que mejoraron la calidad de las briquetas fueron las de 90/10 y 70/30, presentando un poder calorífico promedio de 19.80 MJ/kg y 19.44 MJ/kg respectivamente. Se concluyó que el uso de cascarilla de café con aglutinantes naturales (almidón de yuca) para la obtención de briquetas, representan una excelente alternativa de energía renovable como biocombustible sólido de calidad, con buenas características de poder calorífico.

Palabras claves: briquetas, biocombustible sólido, calidad de briquetas, poder calorífico.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the quality of briquettes as solid biofuel, elaborated from coffee husk residue in the Valle del Monzón. The study was of an applied type, with a factorial experimental design, where 25 kg of coffee husks from the coffee growing area of the Valle del Monzón were used. The research was developed in four stages; (I): characterization of the coffee husk according to its physicochemical and energetic parameters, (II): elaboration of briquettes with proportions of 50/50, 70/30 and 90/10 (coffee husk/agglutinant), this stage consisted of five sub-processes such as grinding, sieving until obtaining particles equal to or smaller than 1 mm, preparation of the mixture, densification at a pressure of 44.96 PSI and drying in the oven for 4 days, (III) determination of the physicochemical properties of the briquettes (moisture content, volatile matter, fixed carbon, ash and bulk density) and (IV) determination of the energetic properties, specifically the calorific value. The results obtained showed that all the physicochemical and energetic parameters evaluated were within the standards established in the Colombian technical norm NTC 2060, with the exception of moisture content and volatile matter. Likewise, the proportions that improved the quality of the briquettes were 90/10 and 70/30, presenting an average calorific value of 19.80 MJ/kg and 19.44 MJ/kg, respectively. It was concluded that the use of coffee husks with natural binders (cassava starch) to obtain briquettes represents an excellent renewable energy alternative as a quality solid biofuel, with good calorific value characteristics.

Key words: briquettes, solid biofuel, briquette quality, calorific value.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las fuentes de energía renovables en forma de biomasa sólida, llamadas también biocombustibles, se promueven como reemplazo de los combustibles fósiles, lo que podría traer como consecuencia la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Malaták *et al.*, 2020). Es así, que la biomasa de residuos agrícolas puede configurarse como una alternativa de fuentes de energía convencionales en forma de briquetas o biocombustible sólido, debido a las ventajas que tienen, tales como mayor densidad de energía, menor humedad y una mejor homogeneización del combustible (Gendek *et al.*, 2018).

Por otra parte, la cascarilla de café es una biomasa de bajo costo y alta disponibilidad que puede ser utilizada para la producción sostenible de bioenergía. Sin embargo, su mayor inconveniente se debe a su baja densidad y forma irregular dificultando su transporte, almacenamiento y manipulación (Setter y Oliveira, 2022).

Se sabe que el Perú genera aproximadamente 55 000 toneladas métricas de cascarilla de café, residuo que hoy en día no tiene ninguna aplicación industrial y/o doméstica (Hurtado, 2016). Pero que, al ser reaprovechadas con tecnologías adecuadas como las briquetas, representaría una oportunidad de generación de energía barata y eficiente, que además podría ser replicada o producida en zonas cafetaleras como por ejemplo el Valle del Monzón.

Por otra parte, también se conoce que, para el éxito de la densificación de briquetas a base de cascarilla de café en países de desarrollo como el Perú, se tiene que superar diferentes dificultades relacionadas a la calidad de las briquetas que dependen de factores como el tamaño de las partículas, el porcentaje de humedad y las condiciones de elaboración de la briqueta como la presión, el tiempo de secado, el tipo y cantidad de aglutinante utilizado (Jelonek *et al.*, 2020). Otro aspecto importante a superar es la cantidad óptima de aglutinante en la briqueta, debido a su relación inversa con el poder calorífico y su relación directa con la densidad aparente, siendo ambos parámetros importantes a la hora de evaluar la calidad de una briqueta de biomasa.

En base a lo anterior expuesto, se sustenta que el aporte de la presente investigación fue analizar la calidad de las briquetas elaboradas a partir del residuo cascarilla de café, en función de sus propiedades fisicoquímicas y energéticas, con el fin de determinar sus posibles aplicaciones como sustituto del combustible tradicional. Por este motivo, se realizaron diferentes ensayos que permitieron establecer los rangos de las proporciones de biomasa y aglutinante que confieren propiedades adecuadas para ser un biocombustible sólido y a su vez determinar la influencia de estas propiedades en la calidad de las briquetas.

Por consiguiente, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Alrededor del 33% de la generación de energía global proviene del petróleo, seguida por el carbón (24%) y el gas natural (21%). El porcentaje restante corresponde a energía renovable (19,1%) y energía nuclear (2,6%). Aproximadamente el 50 % de las fuentes mundiales de energía renovable se derivan de la biomasa: leña/biocarbón (23%), biocombustible (22%), biogás (5%). El otro 50% se deriva de la energía hidroeléctrica, eólica, solar y geotérmica con cifras alrededor del 26, 18, 4 y 2%, respectivamente (Ibitoye *et al.*, 2021).

El reaprovechamiento de la biomasa como energía conlleva importantes desafíos como su baja densidad y una forma de aprovecharla es a través de la densificación, la cual constituye un proceso de compactación de partículas mediante la aplicación de presión para formar combustible sólido (Obi, Pecenka y Clifford 2022). Según cifras en el 2013, la producción mundial de biomasa densificada estuvo liderada por la Unión Europea (12,2 millones de toneladas), representando el 50% de la producción total, seguida de Estados Unidos y Canadá con el 31%, China y Rusia con el 9% y 7% respectivamente, y otros países con el 4 %. En cuanto al consumo de estos productos, Europa y Reino Unido lideran el consumo con el 80% (18.3 millones de toneladas) del consumo global, seguido de EE.UU. y Canadá con el 12% (2.7 millones de toneladas), Rusia, Asia y el resto del mundo con 1, 0.9 y 0.3 millones de toneladas respectivamente (Hernández, Forero, Sierra-Vargas 2017).

Las briquetas, una de las técnicas para densificar la biomasa, es una opción de tratamiento para mejorar la eficiencia de la combustión de residuos, así como su gestión y manejo (Ferronato *et al.*, 2022), facilitando su transporte, manipulación y almacenamiento, además de volverse efectivo en el reemplazo de la leña, queroseno, carbón, carbón vegetal y combustibles fósiles (Panwar *et al.*, 2011). Se conoce que el 92% de la biomasa densificada en forma de briquetas, proviene exclusivamente de fuentes agrícolas (es decir, cultivos energéticos, residuos de cultivos y/o desechos agrícolas), o de fuentes madereras (es decir, aserrín,

desechos de aserradero y/o plantaciones de árboles) o de ambos (Silva *et al.*, 2022). Los usos generales de las briquetas a base de biomasa se recomiendan principalmente para cocinar y calentar (Ferronato *et al.*, 2022), por ejemplo en Polonia se usan como combustible en calderas automáticas para generar calor en los hogares (Stolarski *et al.*, 2016); en China para la calefacción de escuelas y hogares en zonas rurales, donde incluso cuentan con un mercado de briquetas en Jiangsu, el más grande de este país (Ji *et al.*, 2018); en Sudáfrica como combustible doméstico es importante en pueblos y ciudades, y una fuente de ingresos para los hogares de bajos recursos (Guild y Shackleton 2018). En Brasil, las briquetas se utilizan como sustitutos de la leña en panaderías, pizzerías, establecimientos de alimentos y fábricas con hornos de leña, como es el caso de las fábricas de ladrillo rojo.

Sin embargo, el uso de briquetas de biomasa con fines energéticos en países del mundo y de Latinoamérica aún no se ha generalizado por completo, ya que este sector depende de un mercado de briquetas, tecnologías adecuadas y disponibilidad de residuos (Marreiro *et al.*, 2021). Por ejemplo, en China se ha identificado que una de las principales dificultades en la aplicación de los biocombustibles sólidos densificados es la incomprensión de los conceptos tradicionales, debido a que los residuos agrícolas y forestales son considerados de baja tecnología, evitando así transformarse en productos de alta calidad y siendo sólo aptos para su uso en áreas rurales (Zhou *et al.*, 2016). Mientras que, en Nicaragua la carencia de bibliografía o manuales que expliquen el procedimiento y la manera adecuada de aplicar la tecnología de densificación, impide estandarizar la calidad de las briquetas a base de biomasa (López *et al.*, 2015). Asimismo, en países de la región como Ecuador y Brasil, la obtención de una briqueta como biocombustible sólido que cumpla con los estándares de calidad se ve limitado por los recursos tecnológicos existentes, además de la falta de conciencia ambiental que permita reaprovechar los residuos para su conversión en briquetas (Tirado, 2015). De igual manera, en Colombia, se presenta una situación similar, debido a la falta de tecnología y capacitación adecuada, lo que conlleva a emplear procesos complejos de secado y densificación, representando un obstáculo en zonas rurales, donde el uso de

briquetas es requerido (Bastidas-Barranco, Valera-Restrepo y Serrano-Florez, 2022).

En el Perú las briquetas de biomasa tiene un uso doméstico en zonas rurales como combustible para la preparación de alimentos, se han generado briquetas de ichu o pasto de forma artesanal por los mismo pobladores de zonas altoandinas (Palo *et al.*, 2021), así como briquetas a base de residuos agrícolas para su comercialización en tiendas y supermercados (CONCYTEC, 2021), Aunque la industria de briquetas de biomasa no está desarrollada en nuestro país, existe una oferta de biomasa disponible para la producción de energía, con aproximadamente 272 millones de toneladas métricas, que incluyen 16 millones de toneladas de residuos orgánicos, entre agrícolas y forestales de forma anual (Klug, Gamboa y Lorber 2013).

La cascarilla de café, generada del procesamiento del café, es uno de los desechos agrícolas más comunes disponibles en diversos países del mundo, incluido en el Perú donde se genera en grandes cantidades, aproximadamente 55,000 toneladas métricas de cascarilla de café por año, residuo que tiene una aplicación casi nula en procesos industriales y/o actividades domésticas y que es considerado como un desecho de biomasa secundaria (Hurtado, 2016). Aunque es conocido los múltiples usos de la cascarilla de café, entre los que destacan los usos industriales (cerámica, tableros de partículas, producción de sabor), producción de combustible (combustible sólido, gasificación, producción de etanol), adsorción de contaminantes, productos obtenidos por fermentación (ácidos orgánicos, enzimas), compuestos bioactivos (fibra dietética, antocianinas) y agricultura (comida para animales, cama de hongos, ensilaje y compostaje) (Hoseini *et al.*, 2021). La producción de biocombustible sólido a través del densificado o briquetado es una de las mejores alternativas de uso debido a que aprovecha su poder calorífico, bajo costo y alta disponibilidad a diferencia de otros residuos, además de esto, se ha probado las ventajas que tienen las briquetas de cascarilla de café ya que poseen una propiedad de combustión similar a la leña y pueden usarse como combustible renovable (Tesfaye, Workie y Kumar, 2022).

Para el éxito de la densificación de briquetas a base de cascarilla de café en países de desarrollo como el Perú, existe la necesidad de superar diferentes dificultades relacionadas a la calidad de las briquetas, que dependen de factores como el tamaño de las partículas, el porcentaje de humedad y las condiciones de elaboración de la briketa, tales como la presión, el tiempo de secado, el tipo y cantidad de aglutinante utilizado (Jelonek *et al.*, 2020). Por ejemplo, la compactación de la briketa depende del tamaño de partículas; asimismo, el contenido de humedad de las briquetas de cascarilla de café puede influir de forma negativa en sus características energéticas, debido a la relación inversa entre el poder calorífico y el porcentaje de humedad, por lo que un adecuado proceso de secado después de la densificación de la biomasa le confiere una mejor calidad (Dinesha, Kumar y Rosen, 2019). Otro aspecto importante a superar es la cantidad óptima de aglutinante en la briketa, debido a su relación inversa con el poder calorífico y su relación directa con la densidad aparente, siendo ambos parámetros importantes a la hora de evaluar la calidad de una briketa de biomasa, debido a que muchas veces con el fin de obtener un producto de mejor poder calorífico, se emplea proporciones mayores de cascarilla de café y menores de aglutinante, lo que puede influir negativamente en la consistencia (densidad aparente) de la briketa; afectando así su transportabilidad y manipulación.

El Valle del Monzón ubicado en la selva central, es una zona cafetalera que genera grandes cantidades de cascarilla de café, por lo cual, se configura una oportunidad de reaprovechar este residuo mediante la elaboración de briquetas, sin embargo, no se ha realizado en esta localidad ningún estudio que evalúe las propiedades fisicoquímicas y energéticas de estas briquetas a base de cascarilla de café, y tampoco que analice los factores que influyen en estos parámetros, como son la materia prima y el proceso de densificado, es por este motivo, que surge la necesidad de evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón, para establecer un adecuado procedimiento que certifique esta calidad y garantizar el reaprovechamiento de este residuo.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera se evalúa la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido?
2. ¿Cuál es la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido?
3. ¿Cuál es la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas?
4. ¿Cuál es la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido.
2. Determinar la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejore la calidad de las briquetas como biocombustible sólido.
3. Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas.

4. Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas.

1.4 Justificación

La importancia de la evaluación de la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café se justifica de la siguiente manera:

Desde el punto de vista tecnológico, para obtener briquetas de calidad adecuada, se deben aplicar tecnologías de densificación o compactación en la elaboración de briquetas, debido a que permiten mejorar su densidad aparente, tiempo de combustión y poder calorífico, con un menor contenido de humedad, produciendo una menor cantidad de humos y cenizas (Ferronato *et al.*, 2022).

Desde el enfoque teórico, la evaluación de la calidad de briquetas a base de cascarilla de café como biomasa, es un tema poco reportado en la literatura científica. Y aunque se conocen los factores que influyen en la calidad de las briquetas, el aporte de nuestra investigación radica en establecer los rangos o valores de las proporciones de biomasa y aglutinante que confieren propiedades adecuadas para ser un biocombustible sólido y a su vez determinar la influencia de estos factores en la calidad de las briquetas.

Desde la perspectiva ambiental, la calidad de las briquetas está íntimamente relacionada con la mitigación de posibles impactos ambientales, debido a que se considera que las briquetas con calidad adecuada son aquellas que emiten mínima cantidad de humos y cenizas tóxicos para el medio ambiente, además de que las briquetas con mejor rendimiento son aquellas que reaprovechan eficientemente la biomasa de residuos agrícolas en su elaboración. En el presente estudio se propuso evaluar la calidad de las briquetas de cascarilla de café, con el fin de reaprovechar al máximo este residuo sin perjudicar su rendimiento fisicoquímico y energético, representando así una excelente opción de fuente de energía, respetuosa con el medio ambiente para reemplazar la leña y los combustibles fósiles.

Desde el punto de vista social, el presente estudio evalúa los parámetros que influyen en la calidad de las briquetas a base de cascarilla de café, información que puede resultar útil para aquellos emprendedores que pretendan reaprovechar los residuos de cascarilla de café, lo cual representaría una fuente de ingreso, contribuyendo así a mejorar su calidad de vida. Asimismo, representa una excelente alternativa energética, en especial para las familias de bajos recursos que residen en zonas rurales.

Desde el enfoque económico, para que la generación de ingresos por la producción y comercialización de briquetas a base de cascarilla de café sea una realidad, se debe evaluar la calidad de las briquetas a elaborar, teniendo en cuenta los factores o condiciones que determinen su rendimiento como biocombustible sólido, es por este motivo, que la investigación se justifica económicamente en la relación que existe entre la rentabilidad y la calidad de un producto.

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Teórica

La presente investigación se fundamenta teóricamente en los conceptos de bioenergía, biomasa y biocombustibles, que explican cómo los residuos orgánicos, pueden ser reaprovechados para la elaboración de briquetas, debido a su alto poder calorífico, y capacidad de conferir energía.

Del mismo modo, se basa en que la calidad de las briquetas se encuentra influenciada por factores como el tamaño de las partículas, el porcentaje de humedad de la briqueta, la presión, el tiempo de secado y la elección del aglutinante (Jelonek *et al.*, 2020).

1.5.2 Temporal

Aun cuando el café se cosecha entre los meses de abril y octubre, su procesamiento se da a lo largo de todo el año, en consecuencia, existe disponibilidad de cascarilla de café en toda época. Asimismo, el tiempo no representa un factor que influye en la calidad de las briquetas, por lo que no tiene

incidencia en el propósito de la investigación. Es por esta razón, que no existe delimitante temporal.

1.5.3 Espacial

Durante el procesamiento del café, en la etapa del descascarillado se generan residuos sólidos como la cascarilla de café, la cual fue recolectada de la empresa Aromas de Monzón S.A.C., ubicada en el Valle del Monzón - Huánuco, donde se cultiva dicho producto.

La elaboración de las briquetas se realizó en los laboratorios del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria (IIEA) de la Universidad Nacional del Callao (UNAC), debido a la cercanía del domicilio de las investigadoras, por lo que no habría delimitante espacial para la elaboración.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Balseca-Sampedro *et al.*, en su artículo titulado “Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (borra) como biocombustible sólido” plantearon como propósito la verificación de la briqueta como biocombustibles sólidos, evaluando su poder calorífico en función a la norma técnica colombiana NTC 2060 (Briquetas combustibles para uso doméstico). Por consiguiente, caracterizaron la biomasa y procedieron a realizar el prensado de la mezcla con aglutinante de almidón de yuca. Los resultados reportaron un poder calorífico igual a 17.211 MJ/kg, asimismo, el contenido de humedad, ceniza, densidad aparente, fibra y grasas fue de 9.12, 1.76, 0.46, 17.37 y 12.89% respectivamente (2018).

Pratiwi, en su artículo titulado “Efecto de la temperatura de combustión en la calidad de bioenergía alternativa a partir de borra de café”, tuvo como objetivo evaluar el efecto de temperatura de pirólisis en la fabricación de briquetas café, con el fin de determinar las condiciones óptimas basadas en la temperatura de pirólisis capaz de producir briquetas con un alto poder calorífico como combustible alternativo. Para la fabricación de briquetas utilizó residuos de café y como material adhesivo, harina de tapioca o almidón de yuca para luego prensarse en forma cilíndrica. El procedimiento empezó con el secado al horno de la borra de café a una temperatura de 105°C durante 2 horas, estos residuos fueron tamizados con un número de malla de 45 a 20; luego mezcló 100 g de borra de café secada y tamizada con harina de tapioca en porcentajes de 0, 10 y 20 %; para moldearlas en forma de briqueta cilíndrica. Finalmente, quemó las briquetas en un reactor de pirólisis durante 90 minutos a 200, 250, 300, 400 y 500°C para posteriormente ser analizadas en base a un análisis proximal. Los resultados mostraron que las mejores briquetas se encontraron a una temperatura de combustión 300°C sin adhesivo y con un valor calorífico de 7549.42 cal/g (31.587 MJ/kg) y pueden producir una potencia eléctrica de 292.49 W. Sin embargo, estas briquetas producen un contenido inesperado de cenizas

del 3.7% que sigue estando por debajo de la norma Estándar Nacional de Indonesia (SNI-01-6235-2000) para briquetas de carbón vegetal (2020).

Akolgo *et al.*, en su artículo titulado “Evaluación del potencial de las briquetas carbonizadas de aserrín, arroz y cáscaras de coco: uso de agua hirviendo y pruebas de aceptabilidad del usuario”; tuvieron como objetivo determinar el potencial de las briquetas carbonizadas de aserrín, arroz y cáscaras de coco para satisfacer las necesidades de energía en la cocina de los hogares. Para llevar a cabo esta investigación recolectaron aserrín, arroz y cáscaras de coco de Tapa (región de Ahafo), Sunyani (región de Bono) y Techiman (Bono Este), luego en una estufa gasificadora de alimentación múltiple (EGAM) carbonizaron la materia prima por un periodo de dos horas a 250°C, posteriormente la materia prima carbonizada fue tamizada a 0.2mm para luego mezclarse con el aglutinante almidón de yuca y ser prensada a una presión de 89.14 kN/ m² (12.93 PSI). Finalmente determinaron las propiedades fisicoquímicas de las briquetas como poder calorífico, contenido de materia volátil, contenido de humedad, carbono fijo y contenido de cenizas. Encontraron que el poder calorífico de las briquetas carbonizadas era de 24.69 MJ/kg y que la mayor eficiencia de combustión de las briquetas fue 34.7 % cuando emplearon una EGAM. Obtuvieron una reducción del 14% y 80% en material particulado y monóxido de carbono, respectivamente, cuando utilizaron briquetas en lugar de carbón vegetal en la EGAM. Este estudio estableció que la briqueta es un reemplazo adecuado para la madera y el carbón, si se aprovecha todo su potencial y se confirma la eficiencia de utilización de la energía de las briquetas de biomasa de aserrín, cáscara de arroz y coco (2021).

Bot *et al.*, en su trabajo de investigación titulado “Preparación y caracterización de briquetas de biomasa a partir de cáscaras de plátano, bagazo de caña de azúcar, cáscaras de coco y desechos de ratán”, tuvieron como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas y térmicas de las briquetas producidas mediante distintos tipos de biomasa. Prepararon briquetas de biocombustible a partir de cáscaras de plátano, desechos de ratán, cáscaras de coco y bagazo de caña de azúcar mediante un método convencional que involucró secado, carbonizado, triturado, mezclado con almidón de yuca como aglutinante, compactado y de

nuevo secado. Las briquetas se evaluaron mediante análisis proximal utilizando el estándar de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el estándar del Comité Europeo de Normalización (CEN). Los resultados del estudio de reducción de masa mostraron que las pérdidas son más importantes para la cáscara de plátano (97.98%) y el bagazo de caña de azúcar (96%). La densidad aparente de las briquetas producidas estuvo en el rango de 0.470 a 0.851 cm³/gramo; los resultados del análisis proximal registraron altos valores caloríficos de las briquetas siendo éstos 16.98; 30.07; 32.16 y 25.93 MJ/kg para cáscaras de banano, desechos de ratán, cáscaras de coco y bagazo de caña de azúcar, respectivamente; de los cuatro diferentes residuos utilizados, las materias volátiles fueron lentamente inferiores a la recomendación de la literatura, el contenido de cenizas presentó valores en el rango de 7.44 a 11.95% y el contenido de humedad fue relativamente más alto que otros residuos agrícolas, especialmente las cáscaras de plátano y bagazo de caña de azúcar (2021).

Magezi, en su tesis titulada “Producción de briquetas de biomasa a partir de cascarilla de café”, tuvo como objetivo minimizar los desechos industriales a través de la producción de briquetas comprimidas a partir de biocarbón, generado como resultado de la carbonización de las cáscaras de café. Las cascarillas de café se carbonizaron en un ambiente bajo en oxígeno por separado utilizando un horno de mufla. Luego, los materiales carbonizados fueron molidos en partículas finas y mezclados con un aglutinante, convirtiéndose en briquetas con ayuda de una máquina extrusora de briquetas. El contenido de humedad registró un valor de 10.8±2.05 %, la materia volátil 25.8±3.32 %, el contenido de cenizas 12.5±2.36 %, el carbono fijo 51.6±4.51 %, la densidad aparente 0,67±0.05 g/cm³ y el poder calorífico de la briqueta producida a partir de cascarilla de café presentó un valor de 19232±80 cal/g que es mayor al poder calorífico de las briquetas producidas a partir de pasto elefante, el cual fue 3817.6 cal/g (Onuegbu *et al.*, 2012). Concluyó que las briquetas producidas a partir de la cascarilla de café podrían ser utilizadas como fuente alternativa de energía y opción de manejo de residuos (2021).

Setter *et al.*, en su artículo titulado “Influencia del tamaño de partícula en las propiedades físico-mecánicas y energéticas de briquetas producidas con cascarilla de café”, tuvieron como objetivo investigar la influencia del tamaño de partícula en las propiedades físico-mecánicas y energéticas de las briquetas elaboradas a base de cascarilla de café. Por consiguiente, fraccionaron las partículas en tres tamaños diferentes: partículas mayores de 1.8 mm, en el rango de 1.8 a 1.2 mm y menores de 1.2 mm. Prepararon las briquetas de cascarilla de café en un sistema de densificación a 120 °C y 15 MPa durante 15 min. Luego analizaron las características físicas, mecánicas y energéticas tales como densidad aparente, expansión volumétrica, resistencia a la compresión, la resistencia a la abrasión y la densidad de energía. También realizaron una prueba de combustibilidad. Los resultados mostraron que el tamaño de partícula influyó en la densidad aparente, la resistencia a la compresión y la densidad de energía de las briquetas. Sin embargo, no encontraron diferencia significativa en la expansión volumétrica o resistencia a la abrasión de los productos densificados entre los tratamientos. Concluyeron que las briquetas elaboradas con partículas menores de 1.2 mm presentaron mejores características físico-mecánicas y energéticas. No hubo diferencia significativa en la expansión volumétrica o resistencia a la abrasión de los productos densificados entre los tratamientos (2020).

2.1.2 Nacionales

Vicente, en su tesis de grado titulada “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” tuvo como objetivo evaluar la calidad de las briquetas de hoja de caña de azúcar a través de ensayos físicos y térmicos al variar el porcentaje de arcilla como aglutinante. El estudio fue desarrollado mediante la clasificación de la biomasa (hojas de caña de azúcar) y su caracterización fisicoquímica, posteriormente mezcló hojas de caña de azúcar y aglutinante (arcilla y fécula) en proporciones de 75% y 25% respectivamente, donde varió el contenido de arcilla en el aglutinante (0, 5, 10 y 15%); y sometió a un proceso de densificado a baja presión con una briquetadora manual a 150 bares. Como resultado obtuvo que el poder calorífico disminuyó de 16.6 a 14.09 MJ/kg y el

contenido de ceniza aumentó de 3.5 a 18.75%; concluyendo que a medida que se incrementa la proporción de arcilla en la mezcla, la briqueta presenta menor calidad y resistencia (2017).

Cunurana, en su tesis titulada “Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de poda de olivo u orujo de aceituna como fuente de energía alternativa”, tuvo como propósito aprovechar los residuos de la industria olivarera (poda del olivo y orujo de aceituna) para la elaboración de briquetas. Por consiguiente, recolectó los residuos de campos de cultivo de las empresas aceiteras del distrito La Yarada -Los Palos, luego realizó la molienda, mezcla con aglutinantes y el moldeado con dimensiones cilíndricas de 5 cm de diámetro y 20 cm de altura. Para el desarrollo del experimento utilizó el diseño de mezcla con tres variables de experimentación y dos niveles cada uno; orujo de aceituna (0.1 – 0.23), poda del olivo (0.6 – 0.82) y aglutinante (0.08 – 0.15) y cinco factores respuesta; conformados por friabilidad, poder calorífico, tiempo de ebullición, velocidad de combustión y consumo específico del combustible, obteniendo un total de siete experimentos. Las variables de respuesta significativas ($p < 0.005$) fueron índice de friabilidad y poder calorífico, así mismo la composición de mezcla que maximiza el poder calorífico fue 10 % de orujo de aceituna, 82 % de poda de olivo y 8 % de aglutinante, dando como resultado 5 709.46 kcal/kg (23.88 MJ/kg). Concluyó que las briquetas representan una fuente de energía alternativa (2018).

Díaz, en su tesis titulada “Mezclas de biomásas y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas, Lima 2018” estableció como propósito determinar la proporción óptima de biomásas y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas. Por este motivo, realizó experimentos donde se varió el contenido de aglutinante, la granulometría y biomasa para evaluar su efecto en el poder calorífico de la briqueta. Para la elaboración de las briquetas, seleccionó la biomasa (cascarilla de cacao, café y trigo) tamizando en mallas de diferentes tamaños, luego mezcló los componentes para someterlos a una presión de 2 Tn. Los resultados mostraron que la proporción óptima estuvo constituida por 53% en peso de cascarilla de cacao tamizado a una malla de -

2mmn, registrando como poder calorífico 9909.59 kcal/kg equivalente a 41.46 MJ/kg. Para las briquetas de cascarilla de café encontró que la proporción óptima fue 71% en peso de biomasa, tamizado a -1mm, con 29% en peso de aglutinantes (melaza y cáscara de papa) y poder calórico de 9912.81 kcal/kg (41.475 MJ/kg). Para la briqueta de cascarilla de trigo la proporción óptima estuvo constituida por 26% en peso de biomasa, a malla +2mm con el 74% de aglutinantes (melaza y cáscara de papa), resultando como poder calorífico 9928.11 kcal/kg (41.57 MJ/kg). Concluyó que el reaprovechamiento de residuos de café, cacao y trigo permite la generación de energía de forma económica (2018).

Morales, en su tesis titulada “Eficiencia del residuo vegetal del Quenual en combinación con el carbón mineral y arcilla “(Shampo)” como biocombustible sólido en el distrito de Huallanca-Áncash, 2018” tuvo como objetivo elaborar esferas de biocombustible sólido hechas a base de carbón mineral, arcilla y residuos vegetales del Quenual. Por consiguiente, formuló 3 proporciones de mezcla, donde varió el aglutinante de arcilla (100, 50 y 25 g). Luego procedieron al compactado y secado en estufa. Los resultados promedio reportados fueron: humedad 50.31%, materia volátil 15.60%, cenizas 49.82%, carbón fijo 34.59% y poder calorífico 4708 kcal/kg (19.71 MJ/kg). Concluyó que las mezclas de biomasa residual para la obtención de combustibles sólidos densificados dieron como resultado valores caloríficos óptimos (2018).

Espíritu, en su tesis “Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) para su uso como combustible sólido” tuvo como propósito producir briquetas a partir de aserrín de madera; con una mezcla de fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.). En consecuencia, estableció cuatro tratamientos con variaciones en la composición de fibra de semilla y aserrín (T1: 90/10, T2: 70/30, T3: 50/50 y T4: 0/100). Los resultados mostraron que la humedad de las briquetas varió en función al contenido de humedad ambiental, con un valor promedio del 14%; en cuanto a la densidad T1 fue la que obtuvo mayor valor (0.61g/cm³), T3 presentó el más alto poder calorífico con un valor equivalente a 4074 kcal/kg (17.04 MJ/kg), asimismo T2 mostró mayor resistencia a la compresión perpendicular

al eje con 201 kg/cm²; mientras que T1 presenta mayor resistencia a la compresión paralela al eje con 9 kg/cm² (2021).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Biomasa

La biomasa según Adele *et al.*, son recursos no fósiles de origen orgánico que están disponibles sobre bases renovables, sostenibles, limpias y recurrentes, asimismo, pueden ser descritos como desechos procedentes de organismos vivos (2021). Se clasifican de acuerdo a la Tabla 1:

Tabla 1

Clasificación de la biomasa

Grupos de biomasa	Variedades y especies
Madera y biomasa leñosa	Coníferas o caducifolias; angiospermas o gimnospermas; Tallos, ramas, follaje, corteza, astillas, terrones, gránulos, briquetas, aserrín, aserradero y otros de varias especies de madera.
Biomasa herbácea	Hierbas y flores; pajas; otros residuos (frutos, cáscaras, huesos, pepitas, granos, semillas, fibra de coco, tallos, etc.).
Biomasa acuática	Algas marinas o de agua dulce; macroalgas o microalgas; algas marinas, algas marinas, algas de lago, jacinto de agua, etc.
Biomasa de desechos animales y humanos	Huesos, harina de carne y huesos; diversos abonos, etc.

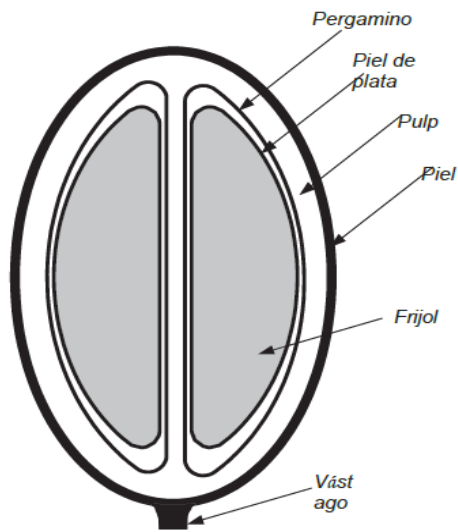
Nota: Adaptado de (Tursi, 2019)

2.2.2 Cascarilla de café

La cascarilla de café, también conocido como pergamino de café representa la capa que envuelve al grano y se encuentra después del mucílago o capa mucilaginoso. Constituye una fuente rica en celulosa, lignina, pentosanos, sílice y cenizas (Gómez, 2010). En la Figura 1 se muestra las partes de una cereza de café.

Figura 1

Partes de una cereza de café



Nota. Tomado de Oliveira y Franca, (2015)

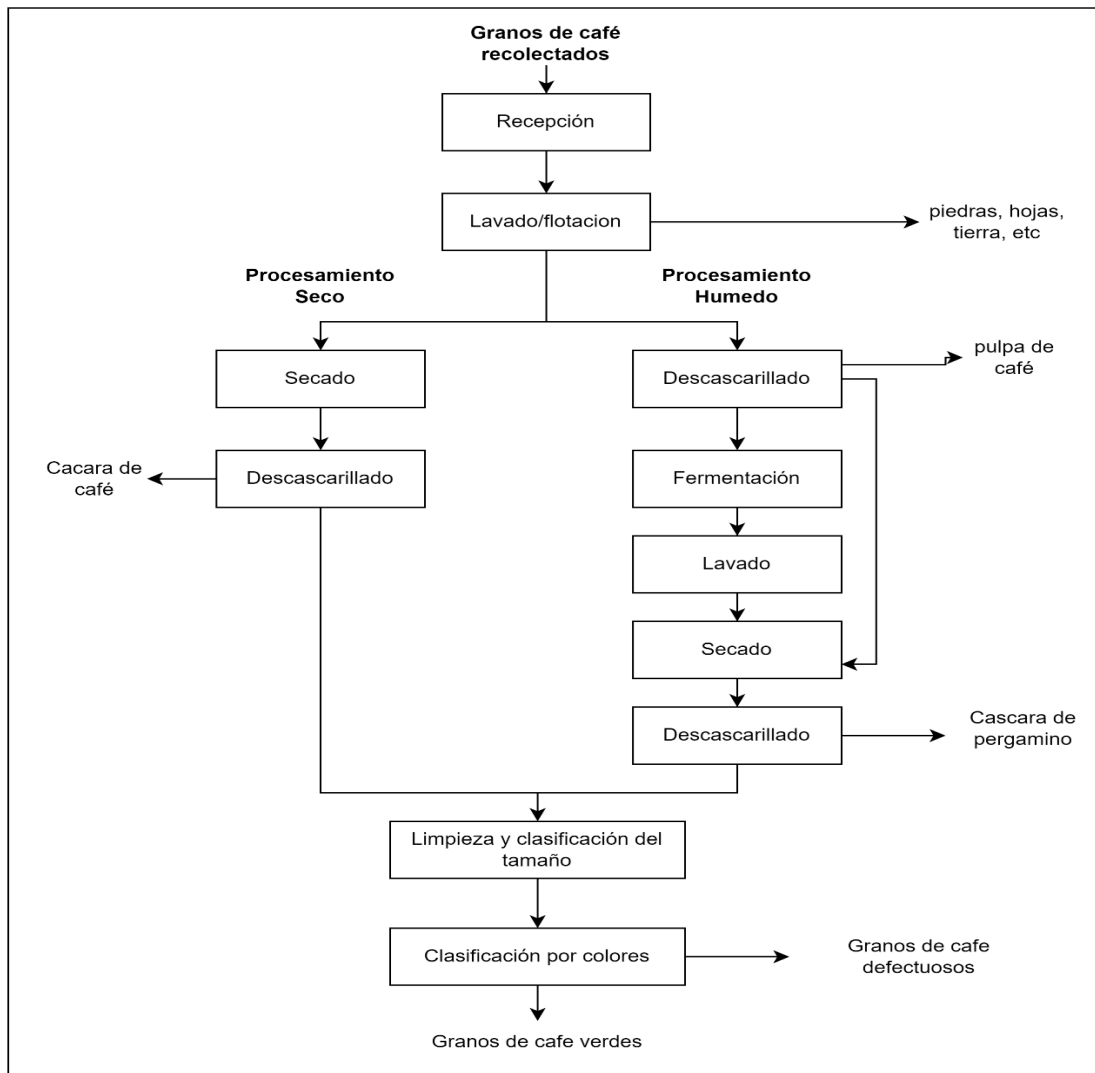
Procesamiento del café

El procesamiento de café termina generando un subproducto como la cascarilla de café, para entender cómo se genera este subproducto primero se tiene que conocer a la cereza de café que suele llevar dos granos de café en su interior, con sus dos caras planas enfrentadas y cubiertos cada grano por un tegumento ajustado (piel de plata). Existe una segunda piel llamada pergamino que cubre de forma holgada cada grano, estos granos cubiertos por el pergamino están encerrados en una pulpa mucilaginosa denominada carne de la cereza, cubierta a su vez por la piel exterior o cáscara. Como se puede prever el grano de café verde solo constituye solo el 50-55% de la materia seca de la cereza madura. El resto de la materia se destina a diversos tipos de residuos, según la técnica de proceso utilizada (Oliveira y Franca, 2015).

La obtención del grano de café verde puede realizarse mediante dos métodos el seco y el húmedo los cuales se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de flujo para la obtención de granos de café



Nota. Adaptado de (Oliveira y Franca, 2015)

Caracterización de la cascarilla de café

La cascarilla de café se encuentra caracterizada de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas y energéticas, en la Tabla 2 se especifican los rangos establecidos de acuerdo a la literatura encontrada.

Tabla 2

Rangos según literatura para la caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café

Parámetro	Rangos según literatura
Densidad aparente (g/cm ³)	--
Humedad (%)	8 – 12 %
Ceniza (%)	0.6 – 10.5 %
Material volátil (%)	>70 (%)
Carbono fijo (%)	15 – 25 %
Poder calorífico (MJ/kg)	15 – 20 (MJ/kg)

(*) Referencia bibliográfica de la Humedad (Kaliyan y Vance Morey, 2009), Ceniza (Bastidas, Melo y Torres 2019), Materia Volátil (Lubwama e Yiga, 2017) Carbono Fijo (Todaro *et al.*, 2015), Poder Calorífico (Erol *et al.*, 2010).

2.2.3 Biocombustibles

Los biocombustibles son un tipo de combustible obtenido a partir de biomasa. Según la Directiva 2009/28/CE “Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables”, la biomasa es definida como la fracción biodegradable de los productos y desechos tanto de origen biológico (orgánico) así como de los residuos industriales municipales (Marco, 2021).

Del mismo modo, González y Castañeda afirman que los combustibles de biomasa utilizan la energía química mediante la fotosíntesis y es liberada para crear energía calorífica con fines tradicionales (calefacción, cocina) e industriales (2008).

2.2.4 Clasificación de los biocombustibles

Los biocombustibles se clasifican de acuerdo a su generación, es decir según la materia y proceso utilizado y de acuerdo a su estado físico.

Clasificación de biocombustibles, según su generación

A. Biocombustibles de primera generación

Los biocombustibles de primera generación son actualmente los más comunes e incluyen aceite vegetal puro, biodiesel y etanol. Se producen por medio de

tecnología convencional que utiliza como materia prima azúcar, almidón, aceite vegetal o grasas animales como fuentes. Dado que sus materias primas también son fuentes de alimento, los biocombustibles de primera generación (el etanol en particular) enfrentan tres críticas principales: (1) La intensificación de su uso lleva al debate entre alimentos y combustibles, (2) la producción de etanol a partir de granos de maíz requiere un consumo significativo de recursos fósiles, de tal manera que hay beneficios mínimos desde la perspectiva de las emisiones de carbono, y (3) hay un requisito de tierra para cultivar maíz. Es por este motivo, que su producción tiene limitantes debido a que generaría una amenaza en el suministro de alimentos y la biodiversidad (Ghadiryantar, 2016).

B. Biocombustibles de segunda generación

Los biocombustibles de segunda generación, también llamados biocombustibles avanzados se pueden fabricar a partir de biomasa lignocelulósica y residuos agrícolas, cabe resaltar que estas materias primas no mantienen competencia con los recursos alimentarios humanos. Sin embargo, la producción de biocombustibles avanzados de las tierras cultivables disponibles, pueden llegar a generar una competencia negativa con los cultivos alimentarios (Ghadiryantar, 2016).

C. Biocombustibles de tercera generación

Los biocombustibles de tercera generación son conocidos también como biocombustibles avanzados, esta generación se produce a partir de algas tanto como micro y macroscópicas, dado que los cultivos marinos pueden cultivarse en el agua y son usadas para la producción de bioetanol, las algas suponen una fuente renovable que tiene diversas ventajas, el cual destaca su rápida generación de biomasa y su cultivo se realiza en tierras que no son competencias directamente con los alimentos y cultivos terrestres (Ghadiryantar, 2016).

D. Biocombustibles de cuarta generación

Los biocombustibles de cuarta generación se fabrican utilizando tierras no cultivables, tienen como objetivo modificar genéticamente los microorganismos

y así aumentar la eficiencia en la captación y almacenamiento del dióxido de carbono (CO₂) (REPSOL, 2022).

Clasificación de biocombustibles, según su estado físico

A. Biocombustibles sólidos

Compuestos de biomasa sólida orgánica no fósil y de origen biológico, estos biocombustibles se producen a partir de carbón vegetal, leña, pellets de madera, residuos de madera, desechos animales y otros desechos industriales renovables, tienen importantes aplicaciones en la generación de calor, energía y electricidad (Mahapatra *et al.*, 2021). En la Tabla 3, se presenta la clasificación de los biocombustibles sólidos.

Tabla 3

Clasificación de biocombustibles sólidos

Clasificación	Descripción
Según la forma	
Gránulos	Cilindros con diámetros entre 5 a 12 mm y longitud de 10 a 30 mm.
Briquetas	Sección cuadrada de área 30X30 mm ² y de longitud 30 x 80 mm
Varilla Hueca	Sección transversal hexagonal, con diámetro entre 50 a 60 mm, longitud de 500 mm y un orificio central de 20mm.
Según la fuente de materias primas	
Desechos agrícolas	Paja de maíz, paja de soja, tallos de algodón, cáscara de maní, de arroz, de café, entre otros.
Desechos forestales	Astillas de madera.

Nota: Adaptado de (Zhou et al, 2016)

B. Biocombustibles líquidos

Son aquellos producidos a partir de biomasa natural o fracción biodegradable, tienen múltiples aplicaciones y ventajas sobre los biocombustibles sólidos y gaseosos debido a su alta densidad energética ideales para el transporte, el almacenamiento y la modernización, entre los más conocidos se encuentra el bioetanol, el biodiésel y el bioaceite (Mahapatra *et al.*, 2021).

Del mismo modo, existen otras clasificaciones de biocombustible líquido como:

- **Biocombustibles a base de triglicéridos:** incluyen biomasa como aceite vegetal, aceite pirolítico, biodiésel, aceite hidrogenado y biogasolina.
- **Biocombustibles de base lignocelulósica:** incluyen materias primas para biocombustibles, como los bioaceites, junto con el diesel BTL y los biocombustibles directos.

C. Biocombustibles gaseosos

Tienen una baja densidad y de naturaleza gaseosa, como ejemplo se tiene al biogás, el biohidrógeno y el biosyngas (No, 2019).

2.2.5 Tecnología de biocombustibles sólidos densificados

Mecanismos de moldeo de biocombustible sólido densificado

a. Condiciones básicas de la materia prima (biomasa)

Para poder comprimir la materia prima a dimensiones y formas establecidas, tiene que poseer las siguientes características: estructura espacial comprimible; contenido de componentes viscosos; humedad y liquidez adecuada (Zhou *et al.*, 2016).

b. Procesamiento de moldeo

A continuación, se describen todas las etapas del proceso de moldeo de biocombustibles sólidos densificados:

Etapas de precarga: tiene como fin ablandar la biomasa para reducir el volumen y obtener una mayor densidad a cierta presión y temperatura.

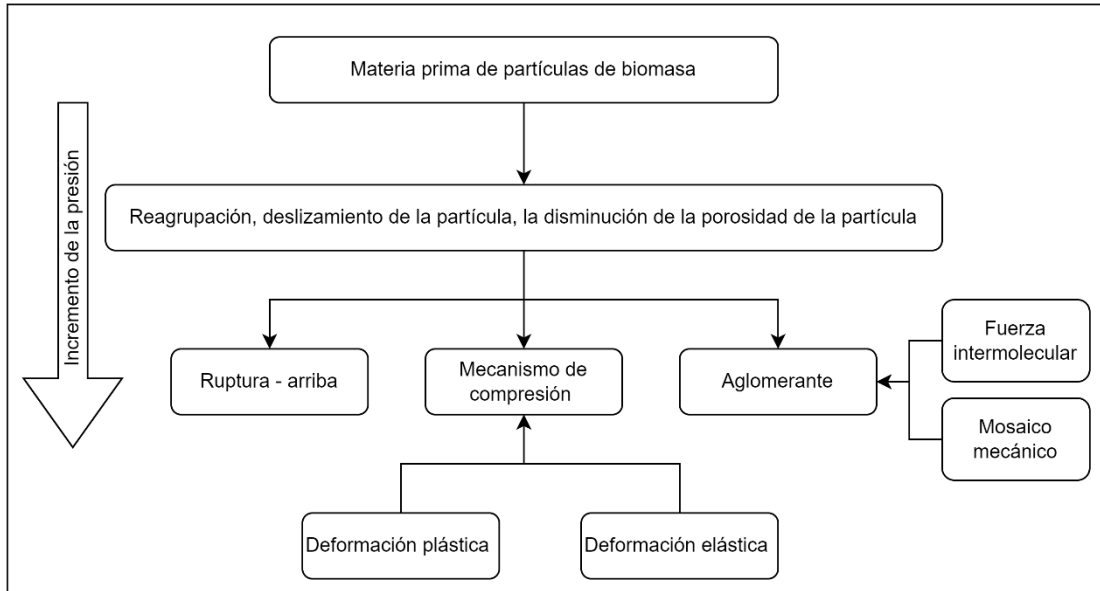
Etapas de moldeo: es la etapa en que se somete a alta presión y a temperatura entre 160 a 180 °C, donde ocurre la deformación plástica hasta moldearse según lo esperado por la extrusora.

Etapas de conservación: es la etapa donde disminuye la tensión interna del biocombustible sólido densificado y a la vez desciende la temperatura a medida que aumenta el diámetro interno de la cámara de moldeo, con un posterior enfriamiento del combustible (Zhou *et al.*, 2016).

En la Figura 3 se presenta el proceso de moldeo de biocombustibles sólidos densificados.

Figura 3

Proceso de moldeo de biomasa y sus fuerzas de formación mecánica



Nota. Adaptado de (Zhou *et al.*, 2016).

Factores que influyen en el moldeo

El tamaño de partícula y el contenido de humedad de las materias primas de biomasa, así como la presión de moldeo y la temperatura de calentamiento son factores que intervienen en el moldeo de biocombustibles sólidos densificados (Zhou *et al.*, 2016).

Clasificación de las tecnologías de moldeo

Los métodos que transforman la materia prima o biomasa sin forma determinada se llama moldeo (Zhou *et al.*, 2016).

De acuerdo con las diferentes características tecnológicas, la tecnología de moldeo se puede dividir aproximadamente en cuatro categorías:

- Proceso de moldeo por prensado en caliente.
- Proceso de moldeo a temperatura atmosférica normal.
- Proceso de moldeo a temperatura y humedad atmosférica normales con presión constante.

- Proceso de moldeo carbonizado.

2.2.6 Briquetas

Las briquetas son un tipo de biocombustible sólido densificado que se generan a partir de la compactación de la biomasa en presencia de un aglutinante de origen natural, lo que las convierte en un producto altamente ecológico, puesto que la biomasa utilizada para su fabricación procede de diferentes residuos que pueden ser de origen agroindustrial, forestal y agrícola; sirven como un sustituto parcial o total del carbón industrial. De acuerdo a su composición, las briquetas pueden tener un sin número de formas y tamaños, desde briquetas de forma circular hasta briquetas rectangulares. Según la NTC 2060 en su apartado 3 menciona que el diámetro mínimo que debe tener una briqueta es de 3 cm, y dependerá exclusivamente de la máquina briqueteadora a utilizarse y de los diferentes tipos de moldes que se empleen en su fabricación (Alarcón, 2017).

Condiciones generales de las briquetas

Según la norma técnica colombiana NTC 2060, las condiciones generales para la elaboración de briquetas combustibles para uso doméstico son las siguientes:

- En cuanto a las dimensiones la norma establece que el tamaño debe ser mayor o igual a 3 cm en su dimensión mínima, además de poseer un fácil encendido, una combustión limpia, y permitir un adecuado transporte, manejo y almacenamiento.
- Debe existir uniformidad en el tamaño, poder calorífico, así como en las características físicas y mecánicas de las briquetas.
- En cuanto al aglutinante debe poseer propiedades aglomerantes, no debe emitir gases tóxicos o irritantes superiores a los permisibles en la combustión.

Por otro lado, esta norma también establece las propiedades fisicoquímicas que debe poseer una briqueta en función a su tipo de clasificación (Tipo 1: Briquetas provenientes de carbón mineral, Tipo 2: Briquetas provenientes de otros tipos de combustibles), en la Tabla 4 se muestran los valores de dichas propiedades.

Tabla 4

Condiciones para la elaboración de briquetas según la NTC 2060

Propiedad	Tipo 1	Tipo 2
Poder calorífico, en kJ/kg, mínimo	21 000	12 500
Cenizas, en % m/m, máximo	30	30
Carbono fijo, % en masa, mínimo	50	-
Material volátil, en % máximo, m/m	15	15
Humedad, en % máximo	2.5	2.5
Contenido de azufre, en %, m/m, máximo	1.0	1.0

Nota: Tomado de la norma técnica colombiana NTC 2060

2.2.7 Aglutinante

Es el material usado en la fabricación de briquetas, su adición permite mantener unidas las partículas de biomasa para su transporte y almacenamiento, de igual manera, también influye en la resistencia, la estabilidad térmica, el rendimiento de la combustión y el costo de las briquetas (Zhang, Sun, Xu, 2018).

Por otro lado, las propiedades requeridas de un aglutinante son:

- Unión fuerte
- Libre de contaminación
- Sin influencia en la liberación de calor y la combustibilidad del carbón
- Sin efecto de interferencia sobre la utilización del carbón
- Ambientalmente aceptable
- Económicamente disponible

Los aglutinantes se pueden clasificar según su composición en (Zhang, Sun, Xu, 2018) en aglutinantes orgánicos, inorgánicos y compuestos, ver la Tabla 5:

Tabla 5*Clasificación de aglutinantes*

Clasificación	Ventajas	Desventajas	Subclasificación
Inorgánico	Fuerte adhesión, no contamina, bajo costo, buena hidrofilia	Alto contenido de ceniza y fuego lento.	<ul style="list-style-type: none"> • Aglutinante inorgánico de briquetas industriales • Aglutinante inorgánico de briquetas civiles • Aglutinante inorgánico de briquetas de protección del medio ambiente
Orgánico	Buen rendimiento de unión, alta resistencia al aplastamiento, resistencia a la prueba de caída	A altas temperaturas son de fácil descomposición a alta temperatura, baja resistencia mecánica y baja estabilidad térmica.	<ul style="list-style-type: none"> • Aglutinante de biomasa • Aglutinante de brea de alquitrán • Aglutinante de betún de petróleo • Aglutinante de lignosulfonato • Aglutinante de polímero
Compuesto	Excelente capacidad térmica	Bajo contenido de carbono fijo, baja eficiencia de combustión	

Nota. Información recopilada de (Zhang, Sun, Xu, 2018).

a) Almidón de yuca como aglutinante

El uso de almidón de tapioca como adhesivo (aglutinante) tiene ventajas en la fabricación de briquetas ventaja debido a que el humo producido por la combustión de las briquetas es relativamente pequeño en comparación con otros materiales adhesivos, tiene un pequeño contenido de cenizas y puede aumentar el contenido calorífico de las briquetas (Pratiwi, 2020).

2.2.8 Calidad de las briquetas

La calidad de las briquetas se caracteriza por sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y energéticas. También es indicativo la efectividad del proceso de densificación, influyendo en su capacidad para soportar ciertos impactos. (Kpalo *et al.*, 2020).

Las cualidades requeridas para las briquetas como biocombustible sólido incluyen estabilidad y durabilidad en el almacenamiento, transporte, buena combustión y seguridad para el medio ambiente cuando estas son quemadas. Las briquetas con una baja durabilidad mecánica, pueden tener inconvenientes durante su transporte, pueden generar polvo o simplemente llegar a romperse. Asimismo, la combustión y la seguridad ambiental dependen principalmente de la naturaleza de la materia prima. La combustión se mide por parámetros como el poder calorífico, la facilidad de ignición y el contenido de cenizas (Kpalo *et al.*, 2020).

Para producir briquetas con una calidad estándar es necesario conocer también el porcentaje de humedad de la materia prima, esto es importante para entender el comportamiento de la humedad del material durante el proceso de fabricación de briquetas. La humedad del material depende del tipo de biomasa, llegando a tener influencia en el poder calorífico. Por otro lado, la temperatura de compactación tiene un impacto significativo en la calidad de las briquetas, ya que provoca la liberación de la lignina en el tipo de biomasa. La lignina actúa uniendo las partículas provocando mejoras en las propiedades mecánicas de las briquetas. Es importante mantener la temperatura de compactación constante durante todo el proceso de prensado (Tirado, 2015).

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los parámetros y estándares de prueba utilizados para medir la calidad de las briquetas.

Tabla 6*Parámetros de calidad de briquetas, valores guía, estándares de prueba y equipo*

Parámetro	Valor guía	Estándares de prueba	Propósito/Significado	Equipo de medición
Contenido de humedad	≤12%*, ≤15%** >2.5%	- ASTM D2444 - ISO 18134-2 - NTC 2060	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar posibles cambios en las condiciones físicas de las briquetas durante el almacenamiento y transporte. ➤ Podría influir en la resistencia mecánica la durabilidad y la eficiencia térmica. 	Analizador termogravimétrico, estufa de secado con rango de temperatura de 105 ± 2 °C, Balanza digital.
Densidad	≥0,9 gcm ⁻³ *, ≥1,0 gcm ⁻³ ** ≥0,6 gcm ⁻³ *, ≥0,9 gcm ⁻³ **	- ASTM D2395 - ISO 18847	<ul style="list-style-type: none"> • Para determinar la masa de partículas por unidad de volumen de una muestra de briquetas. ➤ Influye en el costo de transporte y la densidad de energía. 	Balanza digital, Calibrador digital o manual.
Resistencia al agua	95%	- ASTM D870-15	<ul style="list-style-type: none"> • Para determinar la velocidad a la que las briquetas pueden resistir la degeneración por la humedad o la exposición al agua. ➤ La capacidad de las briquetas para resistir la penetración de la humedad cuando se exponen, lo que podría afectar la combustión y la durabilidad en el almacenamiento. 	Balanza digital, Calibrador digital o manual.

Parámetro	Valor guía	Estándares de prueba	Propósito/Significado	Equipo de medición
Índice de rotura	≥90%	- ASTM D440-86 - ISO 616	<ul style="list-style-type: none"> • Para medir la resistencia de las briquetas con fines de manejo, transporte y almacenamiento. ➤ Indica la capacidad de las briquetas para producir menos finos durante el manejo y alta durabilidad al deterioro gravitacional. 	Balanza digital, Regla métrica, Placa de acero, Tamiz.
Fuerza compresiva	1,0 MPa.	- ASTM D2166-85	<ul style="list-style-type: none"> • Para determinar las cargas máximas de trituración que puede soportar una briqueta antes de agrietarse o romperse. ➤ Haga que las briquetas sean seguras para almacenar, transportadas sin romperse. 	Máquina de prueba universal.
Durabilidad	95%	- Norma ISO 17831-2	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la velocidad a la que las briquetas pueden soportar la degeneración cuando se manipulan y transportan. ➤ La prueba simula el manejo mecánico o neumático que muestra la capacidad de las briquetas para resistir la abrasión. 	Probador de durabilidad.
Valor calorífico	≥14.9 MJ/kg *, ≥15.5 MJ/kg **, ≥14.5 MJ/kg *, ≥14.5 MJ/kg **, <12.500 kJ/kg	- ASTM D5865-13 - ISO 18125 - NTC 2060	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la cantidad de energía térmica en la combustión de un kilogramo de briquetas. ➤ Esto indica el potencial de recuperación de energía de la biomasa durante la conversión termoquímica. 	Calorímetro de bomba.

Parámetro	Valor guía	Estándares de prueba	Propósito/Significado	Equipo de medición
Contenido de cenizas	$\leq 1.0\%^*$, $\leq 3.0\%^{**}$	- ASTM D3174-12	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el porcentaje de contenido de cenizas que la briqueta puede producir después de la combustión. ➤ El contenido de ceniza en la briqueta provoca un aumento en el remanente de combustión en forma de ceniza, lo que reduce el efecto de calentamiento de la briqueta y puede causar escoria. 	Horno con un rango de temperatura de 550 ± 10 °C.
	$\leq 6.0\%^*$, $\leq 10.0\%^{**}$	- ISO 18122		
	$>30\%$	- NTC 2060		
Materia volátil	No especificado	- ASTM D3175-18 - ISO 18123	<ul style="list-style-type: none"> Simular el aspecto práctico de la combustión de la biomasa en la caldera. ➤ Mejora la quema esporádica y una indicación de la tasa de ignición en briquetas. 	Horno con un rango de temperatura de 900 ± 10 °C.
	$>30\%$	- NTC 2060		
Carbono (C)	48–50 % 6,2 %	- ASTM 3176-15 - ISO 16948	<ul style="list-style-type: none"> Determinar las propiedades de combustión de las briquetas y la cantidad indeseable de emisión, es decir, óxidos de nitrógeno (NOx). ➤ Estos elementos sugieren las propiedades combustibles de las briquetas. Influyen en la combustión. 	Analizador de elementos.
Hidrógeno (H)	$\leq 0.3\%^*$, $\leq 1.0\%^{**}$			
Nitrógeno (N)	$\leq 1.5\%^*$, $\leq 2.0\%^{**}$			
Azufre (S)	$\leq 0,04\%^*$, $\leq 0,05\%^{**}$	- ASTM D3176-15	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la cantidad de emisiones no deseadas, es decir, óxidos de azufre (SOx). ➤ El azufre se oxida y se convierte en gas dióxido de azufre (SO₂) durante la combustión en los hornos. Los contaminantes de azufre son dañinos para el medio ambiente. 	Espectrómetro de emisión atómica.
	$\leq 0,20\%^*$, $\leq 0,30\%^{**}$	- ISO 16994		
	$>1\%$	- NTC 2060		

Nota: Adaptado de (Kpalo *et al.*, 2020), * Valor mínimo ** Valor máximo

2.3 Marco conceptual

Aunque el concepto no está definido como tal, se conoce que la calidad de las briquetas depende del tipo de materia prima o biomasa y de su proceso de fabricación. En base a lo expuesto, se podría establecer como definición primaria, que la calidad de las briquetas son cualidades deseadas del combustible, que incluyen una buena combustión, estabilidad y durabilidad en el almacenamiento y manejo, además de la seguridad para el medio ambiente al momento de ser quemados (Kpalo *et al.*, 2020).

Con respecto a la combustión y seguridad ambiental dependen del tipo de biomasa, la cual influye en los parámetros como el poder calorífico, facilidad de ignición y el contenido de ceniza, que a su vez está relacionado con la emisión de gases tóxicos durante la combustión. En consecuencia, para la selección adecuada de la biomasa se debe considerar el tamaño o estructura, el contenido de lignina o celulosa, el contenido de impurezas, la densidad y la humedad.

Por otra parte, parámetros como la durabilidad y estabilidad de las briquetas, así como la resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, absorción de humedad y densidad, son influenciados por el proceso de elaboración de las briquetas.

Por este motivo, algunos estudios optan por implementar técnicas para mejorar la calidad de las briquetas, las cuales pueden aplicarse a la biomasa o a la briketa elaborada, con el fin de variar las propiedades de la materia prima o las condiciones del proceso.

Por consiguiente, si se desea elaborar briquetas de calidad adecuada se debe experimentar en el proceso de fabricación, considerando las normas vigentes para su regulación como un producto.

La NTC 2060, es una norma técnica colombiana que indica los requisitos y características de las briquetas para uso doméstico, considerando para la presente investigación: el tamaño mayor o igual a 3 cm y las propiedades como Poder calorífico, Cenizas, Carbono fijo, Material volátil y Humedad.

La cascarilla de café es un residuo generado en la industria del café durante la etapa del descascarillado, se caracteriza por su alto contenido de lignina y celulosa. Es considerada como una fuente de biomasa que puede ser reaprovechada para la elaboración de briquetas.

Para completar la elaboración de las briquetas, se utilizó como aglutinante el almidón de yuca, debido a sus ventajas como el bajo contenido de humo, bajo contenido de cenizas y su aporte en el aumento del poder calorífico de las briquetas.

2.4 Definición de términos básicos

Biocombustible: Los biocombustibles son un tipo de combustible obtenido a partir de biomasa (Marco, 2021).

Bioenergía: La bioenergía se define como una energía renovable producida a partir de fuentes naturales capaz de reemplazar la energía fósil (Lago *et al.*, 2019).

Biomasa: La biomasa se define como material biológico derivado de la transformación de la energía solar en energía química, ya sea de forma directa o indirecta (Chiumenti *et al.*, 2019).

Briqueta: Las Briquetas son un tipo de biocombustible sólido densificado que se generan a partir de diversos tipos de biomasa compactada dentro de un molde, que pueden fabricarse en presencia de un aglutinante o sin aglutinante de origen natural (Alarcón, 2017).

Calidad de las briquetas: Se encuentra definida por los siguientes cinco autores:

La calidad de las briquetas es el indicativo de la efectividad del proceso de densificación, y es caracterizada por sus propiedades físicas, mecánicas y energéticas. (Kpalo *et al.*, 2020).

La calidad de las briquetas depende en gran medida del porcentaje de humedad, así como también de la temperatura y la presión de compactación (Okot *et al.*, 2018).

Las propiedades fisicoquímicas que describen la calidad de las briquetas son la presión, la temperatura, el porcentaje de humedad, el tamaño de partícula, la durabilidad y la densidad de las partículas (Berastegui *et al.*, 2017).

La calidad de las briquetas se encuentra determinada mediante la evaluación del contenido de cenizas, el poder calorífico y las pruebas de resistencia al impacto (Rodrigues *et al.*, 2017).

Los principales factores que afectan la calidad de la briqueta son el tamaño de las partículas, el porcentaje de humedad de la briqueta, la presión, el tiempo de secado y la elección del aglomerante (Jelonek *et al.*, 2020).

Carbono fijo: El carbono fijo se define como la parte de biomasa que no es volátil y que es quemada en forma sólida (Agudelo, 2017).

Cascarilla de Café: Se encuentra definida por los siguientes cinco autores:

La cascarilla de café también conocida como pergamino de café, es aquella parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa (Manals-Cutiño, Salas-Tort y Penedo-Medina, 2018).

La cascarilla de café es el residuo sólido que se obtiene en la etapa de descascarillado de las cerezas de café para la obtención del grano, mediante un proceso en seco o húmedo. Constituye una fuente económica de combustible, caracterizado por su alto poder calorífico (Oliveira y Franca, 2015).

La cascarilla de café es un tipo de biomasa herbácea que posee potencial para ser utilizadas en la producción de biocarbón. Se encuentra caracterizada por su alto contenido de lignina, extractivos, cenizas y carbono fijo, lo que contribuye a su mayor estabilidad térmica (Veiga *et al.*, 2017).

La cascarilla de café es la capa gruesa que cubre el grano y representa aproximadamente el 43% del peso de la cereza de café. Presenta potencial para la elaboración de biocombustible sólido, debido a sus características fisicoquímicas y energéticas conferidas, tales como alto poder calorífico y material volátil (Arias y Meneses, 2016).

El pergamino o cascarilla de café es la capa que rodea el grano, ubicada seguidamente de la capa mucilaginosa y representa una excelente fuente de

celulosa, lignina, pentosanos, sílice y cenizas. Posee potencial para la fabricación de briquetas, donde debe determinarse su proporción para la mejora de las propiedades energéticas (Díaz, 2018).

Contenido de Ceniza: El contenido de cenizas está referido a los compuestos inorgánicos del combustible que quedan cuando la biomasa pasa por un proceso de oxidación completa (Ramírez y Riaño, 2022).

Densidad aparente: Se define como la masa por unidad de volumen. La densidad de las briquetas depende de factores como el tamaño de las partículas de biomasa, la presión de compactación y el tiempo de formación de briquetas (Setter *et al.*, 2020).

Humedad: El contenido de humedad es definido como la cantidad de agua que se encuentra presente en la biomasa, puede ser medido en base seca o base húmeda. Se expresa como un porcentaje del peso (Ramírez y Riaño, 2022).

Materia Volátil: Se refiere a la cantidad de combustible que es gasificada mediante un proceso de pirólisis, la cual proviene de los componentes orgánicos e inorgánicos de la biomasa (Ramírez y Riaño, 2022).

Poder calorífico: Se define como la cantidad de energía que se libera en forma de calor en un kilogramo, o en un metro cúbico de combustible durante el proceso de combustión completa. Puede expresarse como poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico inferior (PCI), siendo el PCI el que considera el calor de condensación del agua presente en la biomasa (Ramírez y Riaño, 2022).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La calidad de las briquetas como biocombustible sólido elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón se evalúa en base al cumplimiento de los estándares de la norma NTC 2060.

3.1.2 Hipótesis específicas

1. Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café son humedad, comprendida entre 8 a 12%, carbono fijo de 15 a 25%, poder calorífico de 15 a 20 MJ/kg, cenizas de 0.6 a 10.5% y materia volátil mayor al 70%.
2. La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1.
3. Las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060.
4. La briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico, igual o mayor a 12.50 MJ/kg.

3.2 Operacionalización de variables

Tabla 7

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método	Técnica
(VI): Residuo cascarilla de café	Es la capa gruesa que cubre el grano de café. Presenta potencial para la elaboración de biocombustible sólido, debido a sus características fisicoquímicas y energéticas conferidas, tales como alto poder calorífico y material volátil (Arias y Meneses, 2016).	Residuo reaprovechado para la elaboración de briquetas, debido a sus características fisicoquímicas. Se establecerá en función a su contenido en la mezcla.	Características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café	Densidad aparente	g/cm ³	Físico	Calculado
				Humedad	%	Gravimétrico	ASTM D4442
				Materia Volátil	%	Gravimétrico	ASTM D7582
				Carbono fijo	%	Gravimétrico	ASTM D-3172
				Cenizas	%	Gravimétrico	ASTM D-1762
				Poder calorífico	MJ/kg	Físico	Cálculo
(VD): Calidad de briquetas como biocombustible sólido	Es el indicativo de la efectividad del proceso de densificación, y es caracterizada por sus propiedades físicas, químicas y energéticas (Kpalo <i>et al.</i> , 2020), establecidos en los requerimientos técnicos de la norma NTC 2060.	La calidad de las briquetas se determina en función a sus propiedades fisicoquímicas y energéticas.	Propiedades fisicoquímicas de las briquetas	Proporción de cascarilla de café en la mezcla con aglutinante	(W de CC/ W Aglutinante + W de CC) *100%	Gravimétrico	Balanza
				Presión de compactación	PSI	Físico	Calculado
				Densidad aparente	g/cm ³	Físico	Calculado
				Humedad	%	Gravimétrico	ASTM D7582
				Materia Volátil	%	Gravimétrico	ASTM D7582
				Carbono fijo	%	Gravimétrico	ASTM D7582
				Ceniza	%	Gravimétrico	ASTM D7582
				Poder calorífico	MJ/kg	Físico	ASTM D5865

Nota.: W: peso, CC: Cascarilla de café

IV. METODOLOGÍA

4.1 Diseño metodológico

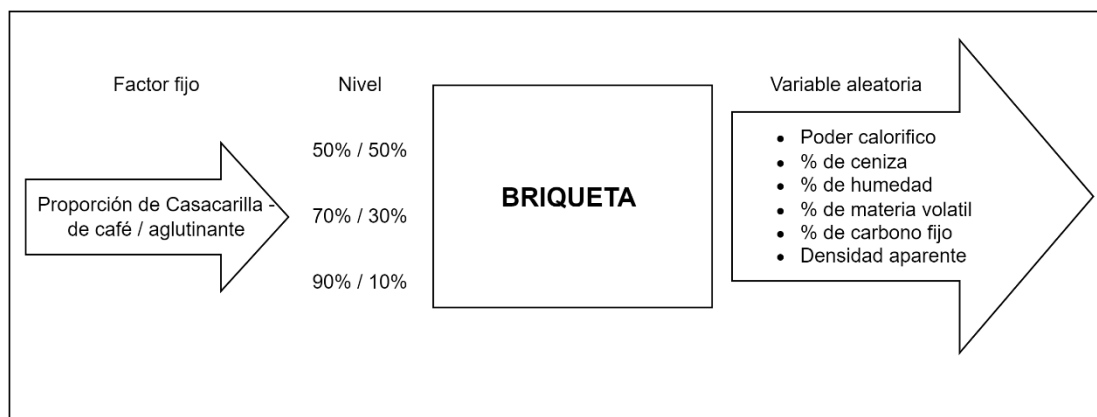
La presente investigación es de tipo aplicada, porque se basa en los fundamentos de la investigación básica y permite resolver problemas en los procesos de producción, distribución, circulación y consumo (Esteban, 2020).

Por su enfoque es cuantitativo ya que se basa en la medición numérica y métodos estadísticos que permiten poner a prueba las hipótesis planteadas. Del mismo modo, este estudio es de nivel explicativo, porque busca causalidad en la variable de respuesta (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

El diseño de la investigación es experimental, del tipo puro o verdadero, debido a que tiene más de dos grupos intersujetos, en donde se manipuló el contenido de cascarilla de café en la mezcla, con el fin de establecer su efecto en las propiedades físicoquímicas y energéticas de las briquetas, ver Figura 4.

Figura 4

Modelo analítico del diseño unifactorial



En la Figura 4 se muestra esquemáticamente el modelo analítico que explica el diseño experimental, el cual se entiende como aquel modelo matemático basado en la varianza de los grupos independientes o intersujetos. Este modelo analítico es unifactorial debido a que cuenta con un solo factor (proporción de cascarilla de café / aglutinante) y busca describir el comportamiento o efecto de una variable sobre otra en función de la varianza.

En la Tabla 8, se presenta el arreglo experimental que se utilizó en la investigación; representando un diseño completamente al azar.

Tabla 8

Representación del arreglo experimental completamente al azar

Proporción de cascarilla de café/aglutinante (%)	Replicas	Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	Carbono Fijo (%)	Poder Calorífico (MJ/kg)
50/50	Replica 1	DA _{1, 50/50}	H _{1, 50/50}	C _{1, 50/50}	MV _{1, 50/50}	CF _{1, 50/50}	PC _{1, 50/50}
	Replica 2	DA _{2, 50/50}	H _{2, 50/50}	C _{2, 50/50}	MV _{2, 50/50}	CF _{2, 50/50}	PC _{2, 50/50}
	Replica 3	DA _{3, 50/50}	H _{3, 50/50}	C _{3, 50/50}	MV _{3, 50/50}	CF _{3, 50/50}	PC _{3, 50/50}
70/30	Replica 1	DA _{1, 70/30}	H _{1, 70/30}	C _{1, 70/30}	MV _{1, 70/30}	CF _{1, 70/30}	PC _{1, 70/30}
	Replica 2	DA _{2, 70/30}	H _{2, 70/30}	C _{2, 70/30}	MV _{2, 70/30}	CF _{2, 70/30}	PC _{2, 70/30}
	Replica 3	DA _{3, 70/30}	H _{3, 70/30}	C _{3, 70/30}	MV _{3, 70/30}	CF _{3, 70/30}	PC _{3, 70/30}
90/10	Replica 1	DA _{1, 90/10}	H _{1, 90/10}	C _{1, 90/10}	MV _{1, 90/10}	CF _{1, 90/10}	PC _{1, 90/10}
	Replica 2	DA _{2, 90/10}	H _{2, 90/10}	C _{2, 90/10}	MV _{2, 90/10}	CF _{2, 90/10}	PC _{2, 90/10}
	Replica 3	DA _{3, 90/10}	H _{3, 90/10}	C _{3, 90/10}	MV _{3, 90/10}	CF _{3, 90/10}	PC _{3, 90/10}

Nota: D: Densidad aparente, H: Humedad, C: Cenizas, MV: Materia volátil, CF: Carbono fijo, PC: Poder calorífico

Se contó con un factor, que es la proporción de cascarilla de café / aglutinante en las briquetas, 3 niveles (50/50, 70/30 y 90/10) y 3 réplicas por nivel, haciendo un total de 9 unidades muestrales.

4.2 Método de investigación

4.2.1 Materiales, insumos y equipos






En la Tabla 9 se describen los materiales, insumos y equipos utilizados en la investigación:



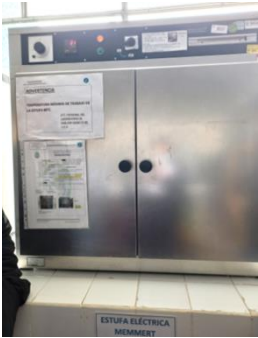


Tabla 9




Materiales, insumos y equipos

Materiales, Insumos y Equipos	Descripción	Fotografía
Cascarilla de café	Biomasa de color mostaza, de forma irregular, procedente de la empresa Aromas de Monzón S.A.C.	
Almidón de yuca	Aglutinante en polvo, de color blanco, procedente del Valle del Monzón, Huánuco.	
Molino manual para granos	Molino con tolva baja Material: Hierro estañado Color: Plomo	
Licuadora Oster Xpert 2	Marca: Oster, Capacidad: 2 litros, Potencia: 2 hp Modelo: BLST3AR2G	

Materiales, Insumos y Equipos	Descripción	Fotografía
Tamiz	Malla metálica de acero inoxidable, con dimensiones: Izquierda: 2 mm y Derecha: 1 mm	
Balanza analítica	Marca: ACZET Modelo: CY 3102 Capacidad: 3100 g	
Cuchara espátula de laboratorio	Material: acero inoxidable Longitud: 300 mm	
Cocina eléctrica	Cocina eléctrica Miray de 2 hornillas Modelo: CMM-26 E Material: acero inoxidable	
Olla de cocina	3 litros de capacidad Material: aluminio Color: plateado	

Materiales, Insumos y Equipos	Descripción	Fotografía
Termómetro de mercurio para laboratorio	Material: tallo de vidrio sólido Extremo superior: con anillo Color: amarillo Rango de temperatura: -10 a 150 °C	
Probeta	Probeta graduada con base hexagonal Material: Vidrio borosilicato 3.3. Capacidad: 100 ml	
Moldes metálicos	De forma cilíndrica para la elaboración de briquetas. Material: Tubo de acero cilíndrico de cédula 70 y 80. Dimensiones: 15cm de largo y diámetro de 6.5cm	
Prensa hidráulica	Marca: BIERI Presión de prensado máximo: 25 MPa Tamaño del tablero: 300 x 300 mm Diámetro central: 50.1 mm	
Bandejas metálicas para laboratorio	Bandejas de acero inoxidable Dimensiones: 35 cm x 26 cm x 6 cm	

Materiales, Insumos y Equipos	Descripción	Fotografía
Balanza de humedad	Marca del equipo: AND Modelo: MX-50 Fabricante: HW Kessel S.A. Capacidad: 51 g	
Estufa eléctrica	Marca: Guter Leiter Modelo: XMTD Serie: TEMP CONT Rango de temperatura: 0 - 150 °C	
Estufa eléctrica	Estufa eléctrica de dos puertas Marca: MEMMERT Rango de temperatura: 0 - 80 °C	
Mufla eléctrica	Marca: SASSIN Modelo: QMSZOV Rango de temperatura: 0 - 550 °C	
Desecador	Recipiente hermético de vidrio con tapa y placa de porcelana Desecante: gel de sílice	

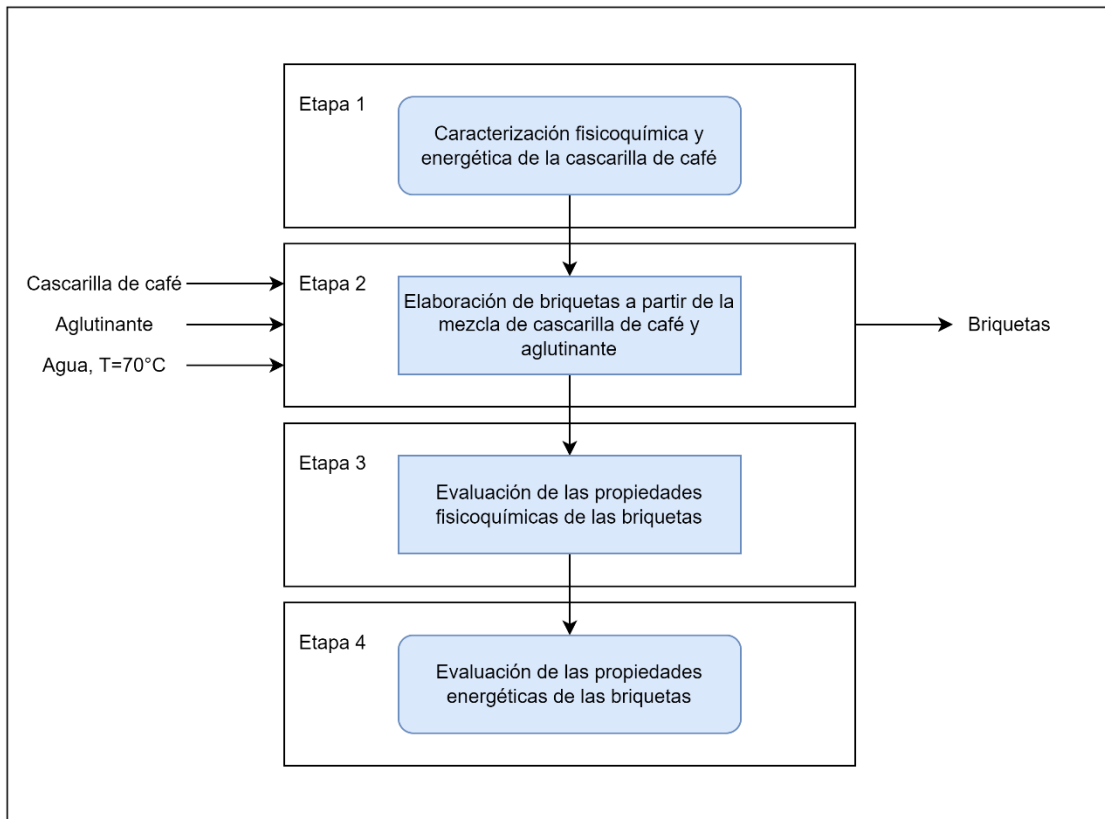
Materiales, Insumos y Equipos	Descripción	Fotografía
Crisol	Crisol de porcelana resistente al calor Capacidad: 30 ml	
Pinzas para crisol	Material: tenazas de acero Largo: 200 mm	
Regla metálica	Regla metálica graduada de 30 cm Color: plateado	

4.2.2 Procedimiento

La evaluación de la calidad de las briquetas elaboradas a partir del residuo de cascarilla de café estuvo conformada por 04 etapas, representadas en el siguiente esquema, ver Figura 5.

Figura 5

Etapas para la evaluación de la calidad de las briquetas



A continuación, se describen las 04 etapas desarrolladas en la presente investigación:

Etapa 1: Caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café

Esta etapa tuvo como finalidad la caracterización de la biomasa utilizada para la elaboración de briquetas a base de cascarilla de café. Este residuo fue generado durante el proceso de obtención de granos de café, en la etapa de descascarillado (método en seco) y proporcionado por la empresa Aromas de Monzón S.A.C.

Para la caracterización de la biomasa se realizaron análisis proximales y de contenido energético, cuyo objetivo fue determinar el contenido de humedad, materia volátil, cenizas, carbono fijo, densidad aparente y poder calorífico. Los análisis en mención fueron desarrollados en los laboratorios del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria (IIEA) de la Universidad

Nacional del Callao (UNAC), con excepción del contenido de materia volátil, el cual fue analizado por el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Las técnicas analíticas aplicadas, se describen a continuación:

- a) Contenido de humedad:** El contenido de humedad de la biomasa se determinó mediante el proceso estándar de la Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales (ASTM D4442). El método gravimétrico se desarrolló pesando muestras de cascarilla de café (W_1) y secándolas en la estufa a 105 °C durante 60 minutos hasta obtener un peso constante (W_2). Se aplicó la siguiente ecuación:

$$H = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} (100\%) \dots\dots\dots (1)$$

Donde W_1 = peso inicial de la muestra antes del secado, expresado en gramos; W_2 = peso final de la muestra después del secado en gramos y H = contenido de humedad, en porcentaje (%).

- b) Materia Volátil:** El análisis de contenido de materia volátil de la biomasa fue realizado por el Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El método estándar aplicado por el laboratorio fue la norma ASTM D7582, por consiguiente, utilizaron un analizador termogravimétrico y la siguiente ecuación:

$$MV = \frac{(W_1 - W_2)}{W} (100\%) \dots\dots\dots (2)$$

Donde W_1 = peso de la muestra a 105°C, en gramos, W_2 = peso final de la muestra a 950°C, en g, W = peso inicial de la muestra, en g, y MV = contenido de materia volátil, en porcentaje (%).

- c) Contenido de cenizas:** El contenido de cenizas de la cascarilla de café se analizó en base a la norma ASTM D-1762S (2001), que consistió en pesar 2 g de muestra en un crisol, sometiéndola a una temperatura de 550 °C durante 4 h hasta lograr su incineración total en la mufla. El cálculo se realizó aplicando la siguiente fórmula:

$$CC = \frac{W_2}{W_1} (100\%) \dots\dots\dots (3)$$

donde W_2 = peso de la muestra a 550°C, en g, W_1 = peso inicial de la muestra, en g y CC = contenido de ceniza, en porcentaje (%).

d) Carbono fijo: El contenido de carbono fijo de la cascarilla de café se determinó de acuerdo a la norma ASTM D-3172. El cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$CF = 100\% - (H + MV + CC) \dots\dots\dots (4)$$

donde MV = materia volátil, en %, CC = contenido de cenizas, en %, H = contenido de humedad, en %, y CF = carbono fijo, en porcentaje (%).

e) Densidad aparente (DA): La densidad aparente de la biomasa se calculó en función a la relación entre la masa y el volumen de la cascarilla de café:

$$DA = \frac{m}{v} \% \dots\dots\dots (5)$$

donde DA = densidad aparente, en porcentaje (%), m= masa de la muestra, en g, y v = volumen de la muestra, en cm³.

f) Poder Calorífico (PC): El poder calorífico superior de la biomasa se determinó en función a la ecuación de Cordero *et al.*, (2001), que se fundamenta en el análisis próximo (materia volátil y contenido de carbono fijo), tal como se muestra a continuación:

$$PC = 354.3 (CF) + 170(MV) \dots\dots\dots (6)$$

donde PC = poder calorífico, en cal, CF = carbono fijo, en porcentaje (%) y MV = materia volátil, en porcentaje (%).

Etapas 2: Elaboración de briquetas a partir de la mezcla de cascarilla de café y aglutinante

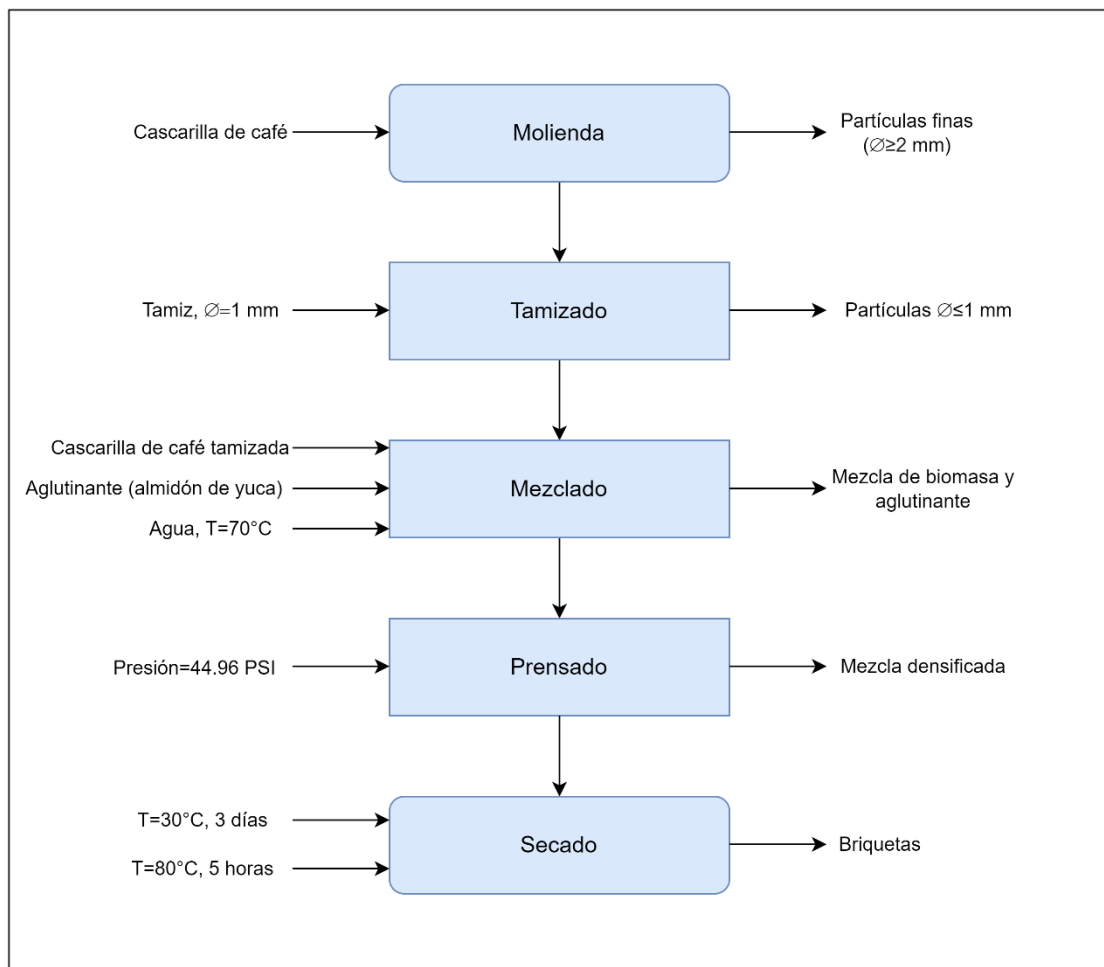
Se elaboraron briquetas variando las proporciones de mezcla de cascarilla de café y aglutinante (almidón de yuca). El proceso para la obtención de briquetas

estuvo conformado por 05 subprocesos: molienda, tamizado, mezclado, prensado y secado, tal y como se muestra en la Figura 6.

Por otra parte, la densificación de la biomasa no fue de tipo industrial, debido a que la prensa hidráulica empleada ejerce una presión de compactación menor a 100 MPa (14503.8 PSI).

Figura 6

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de briquetas



En base a la Figura 6, se describen cada uno de los 05 subprocesos:

a) Molienda

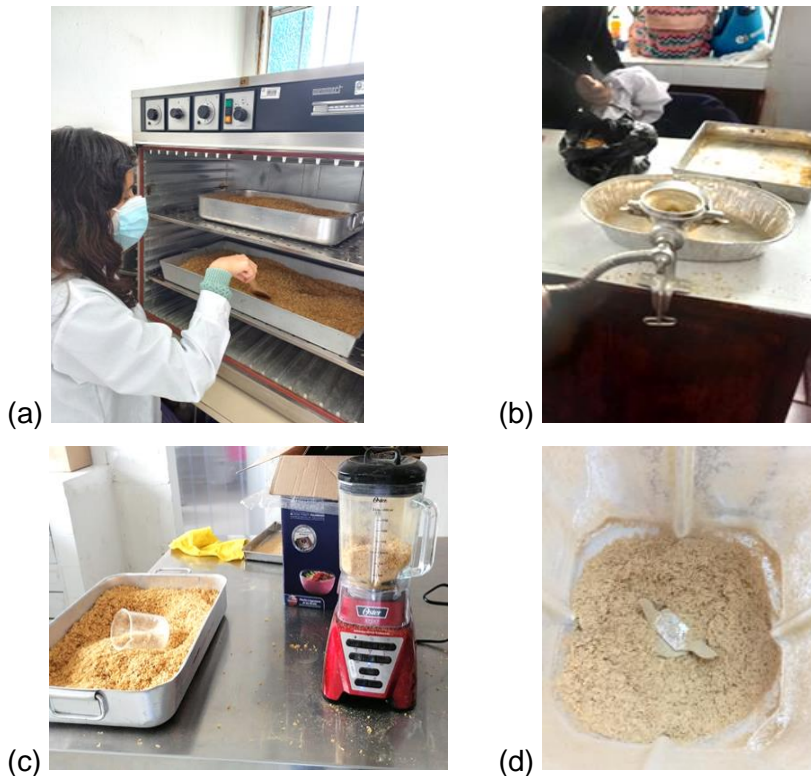
La molienda se realizó con el fin de reducir el tamaño de partículas de la cascarilla de café, para su posterior tamizado. Por consiguiente, se procedió a

secar la materia prima en la estufa a 80°C durante 2 horas, lo cual permitió disminuir la humedad, facilitando su molienda y triturado.

En la Figura 7 se muestra el registro fotográfico de las actividades desarrolladas en este subproceso:

Figura 7

Actividades desarrolladas en el subproceso de molienda



Nota. (a) Secado de la cascarilla de café en la estufa a 80 °C, (b) Molienda de la biomasa, mediante el molino manual para granos, (c) y (d) Triturado en la licuadora oster xpert 2.

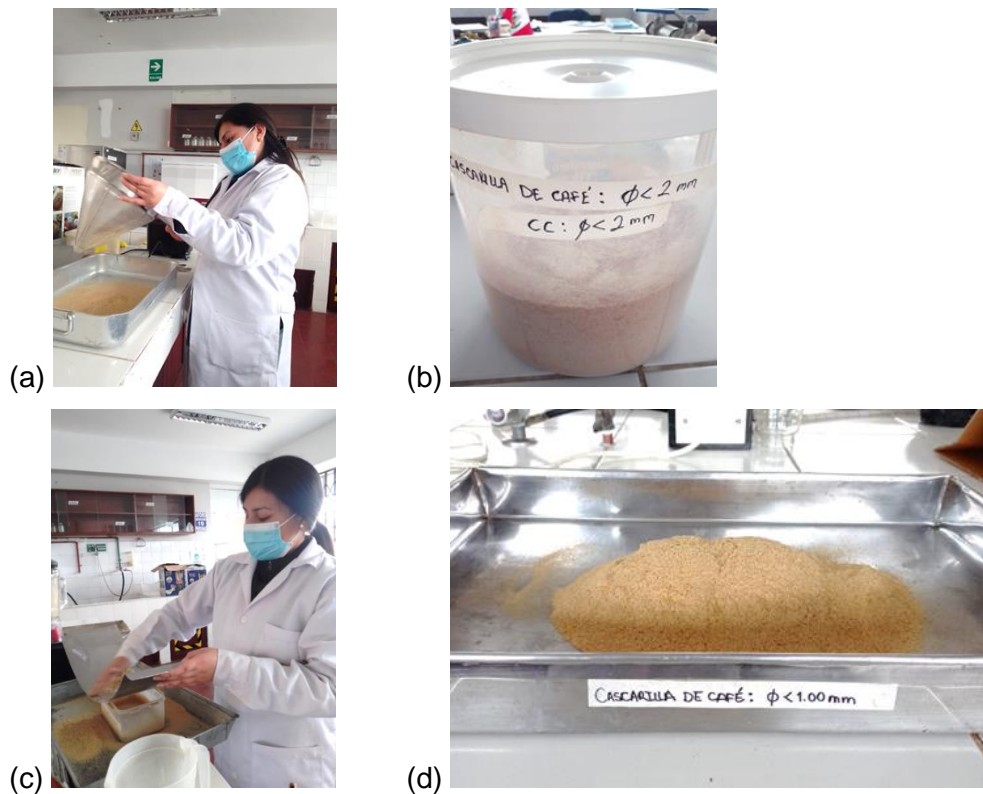
b) Tamizado

Según Setter *et al.*, las briquetas elaboradas con partículas inferiores a 1.2 mm presentan mejores características físico-mecánicas y energéticas (2020). Por esta razón, en la presente investigación la cascarilla de café previamente molida, fue tamizada hasta obtener partículas iguales o menores a 1 mm.

En la Figura 8 se detallan las actividades desarrolladas en el subproceso de tamizado:

Figura 8

Actividades desarrolladas en el subproceso de tamizado



Nota. (a) y (b) Actividad 1: tamizar la cascarilla de café a 2 mm, (c) y (d) Actividad 2: cascarilla con partículas ≤ 2 mm tamizadas hasta obtener partículas ≤ 1 mm.

c) Mezclado

El subproceso de mezclado estuvo conformado por las siguientes actividades:

- **Determinación del peso de la biomasa y aglutinante**

Las proporciones de mezcla de la cascarilla de café y aglutinante (almidón de yuca), se determinaron en base a un peso total de 150 g, ver Tabla 10.

Tabla 10

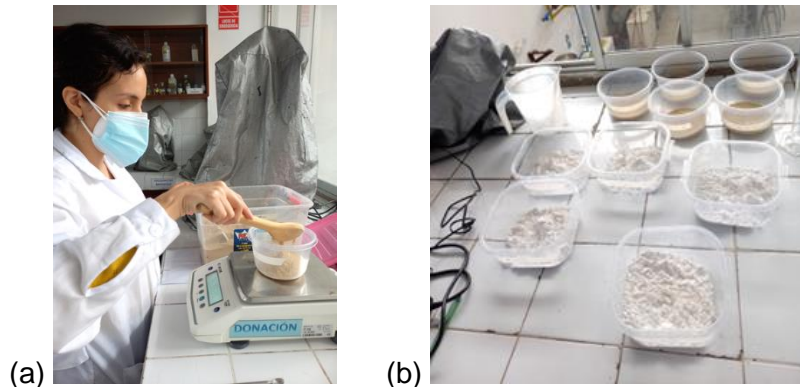
Composición de la mezcla a diferentes proporciones

Proporción (CC/Agl.)	Cascarilla de café (CC)	Aglutinante (Agl.)	Total
50/50	75 g	75 g	150 g
70/30	105 g	45 g	150 g
90/10	135 g	15 g	150 g

En la Figura 9 se muestran las actividades realizadas para determinar el peso de la biomasa y aglutinante.

Figura 9

Determinación del peso de la biomasa y aglutinante



Nota. (a) y (b) Muestras pesadas de acuerdo al tipo de proporción de mezcla establecida.

- **Ensayos para determinar la temperatura apropiada del agua en la mezcla**

La temperatura del agua es un factor importante en la mezcla, debido a que influye en la consistencia del aglutinante.

Se pudo observar que temperaturas mayores a 80°C no favorecían la obtención de una mezcla viscosa, homogénea y sin grumos, por este motivo, se realizaron ensayos, donde se determinó que la temperatura más apropiada del agua fue 70°C, ver Tabla 11. En la Figura 10 se muestran los ensayos realizados.

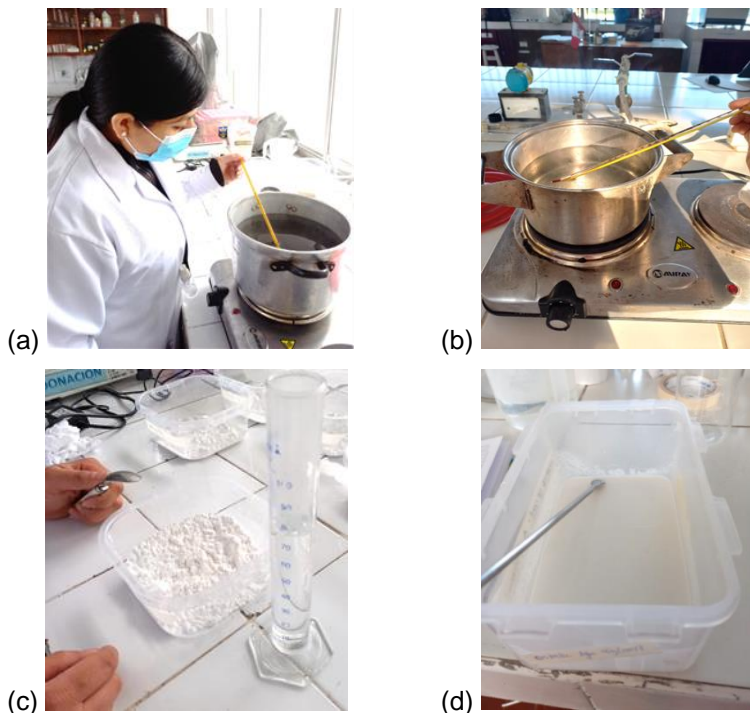
Tabla 11

Consistencia de la mezcla en función de la temperatura del agua

Temperatura del agua (°C)	Consistencia de la mezcla	Aceptabilidad
100	Grumosa	No
90	Grumosa	No
80	Viscosa con grumos	No
70	Viscosa sin grumos	Si

Figura 10

Ensayos para determinar la temperatura apropiada del agua



Nota. (a) y (b) Actividad 1: medición de la temperatura del agua, (c) y (d) Actividad 2: mezcla del aglutinante con agua a 70°C.

- **Ensayos para determinar la cantidad de agua en la mezcla**

La cantidad de agua en la mezcla constituye uno de los factores más importantes, debido a que influye directamente en la consistencia y textura de la mezcla para su posterior prensado.

Mediante ensayos se pudo observar que una mayor cantidad de agua formaba una mezcla inconsistente, afectando su compactación y generando pérdidas de materia prima durante la etapa del prensado, ver Figura 11. En la Tabla 12 se detalla la cantidad de agua requerida para cada proporción.

Tabla 12

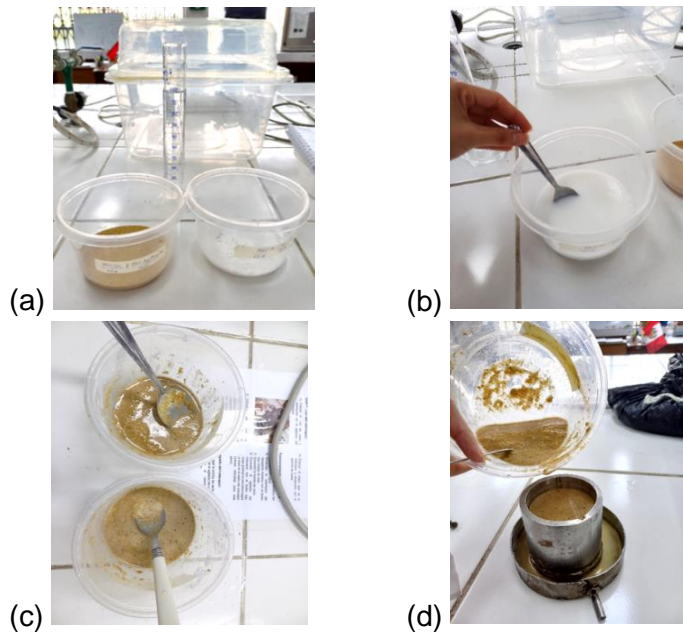
Cantidad de agua requerida en la proporción de mezcla

Proporción (CC/Agl.)	Agua (ml)
50/50	120
70/30	135
90/10	155

Nota: CC: Cascarilla de café, Agl.: Aglutinante

Figura 11

Ensayos para determinar la cantidad de agua en la mezcla



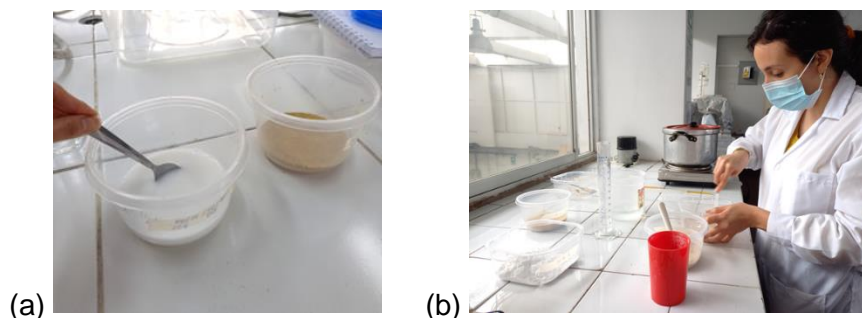
Nota. (a) y (b) Ensayos con diferentes cantidades de agua, (c) y (d) Mezclas inconsistentes con mayor cantidad de agua.

• Preparación de la mezcla

La mezcla de cascarilla de café, aglutinante (almidón de yuca) y agua se realizó en base a las formulaciones establecidas en la Tabla 10 y a los resultados de los ensayos descritos en las Tablas 11 y 12. La preparación consistió en mezclar aglutinante y agua a 70 °C, agitando constantemente a fin de no formar gránulos. Posteriormente, se añadió la cascarilla de café de forma paulatina, agitando durante unos minutos hasta obtener una textura viscosa, ver Figura 12.

Figura 12

Preparación de la mezcla



Nota. (a) y (b) Preparación de la mezcla de cascarilla de café, aglutinante y agua.

d) Prensado

La presión de compactación se determinó en función a la consistencia de la briqueta, obteniéndose estructuras estables a una presión constante de 44.96 PSI. Este subproceso tuvo como finalidad moldear la mezcla para la obtención de briquetas con forma cilíndrica, ver Figura 13 y 14.

Se tomó como referencia la norma técnica colombiana NTC 2060 (Briquetas combustible para uso doméstico), que establece como dimensión mínima 3 cm. En la Tabla 13 se muestra el tamaño promedio de las briquetas por cada tipo de proporción de mezcla.

Tabla 13

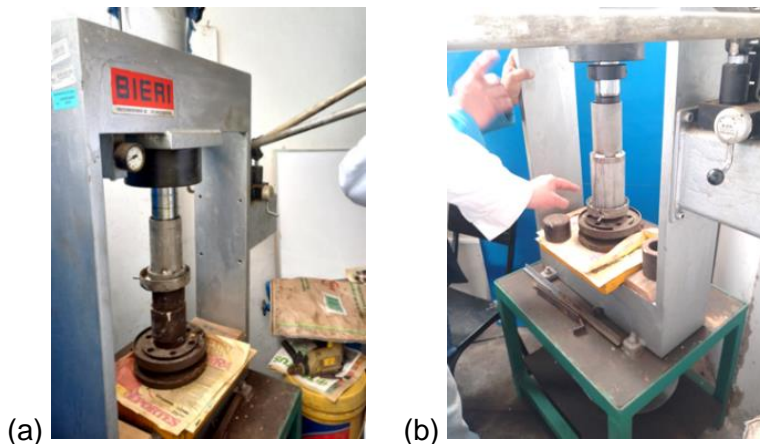
Dimensión promedio de las briquetas en función a su proporción

Proporción (CC/Agl.)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
50/50	5.1	6.5
70/30	5.9	6.5
90/10	7.3	6.5

Nota: CC: Cascarilla de café, Agl.: Aglutinante

Figura 13

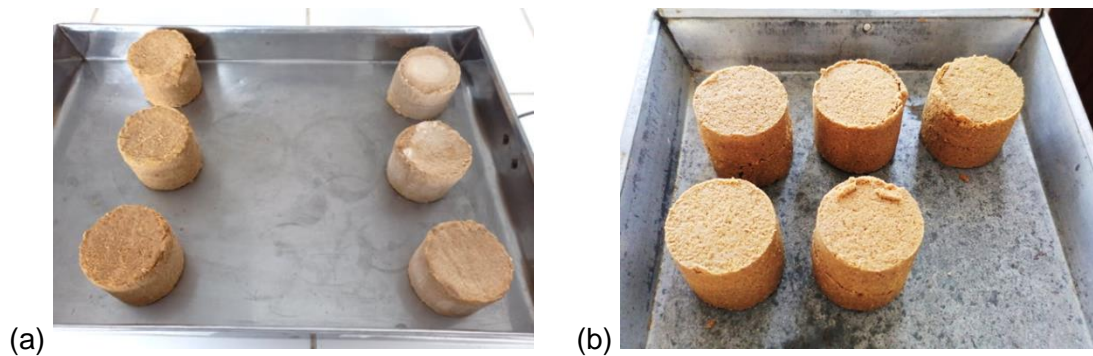
Prensado de la mezcla para la obtención de briquetas



Nota. (a) Prensado de la mezcla de biomasa y aglutinante, (b) Extracción de la briqueta del molde.

Figura 14

Briquetas compactadas



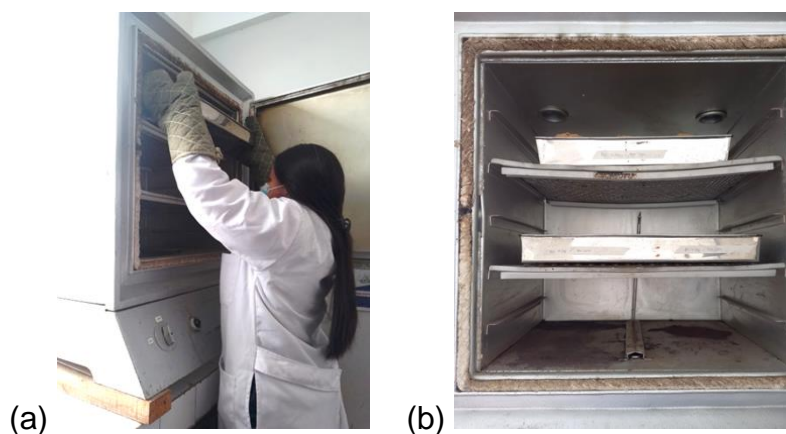
Nota. (a) Izquierda: briquetas con proporción de mezcla 70/30, Derecha: briquetas con proporción de mezcla 50/50 y (b) Briquetas con proporción de mezcla 90/10.

e) Secado

Las briquetas fueron sometidas a un subproceso de secado en la estufa, a una temperatura constante de 30°C, por un lapso de tiempo de 3 días. Sin embargo, la temperatura aplicada no favoreció a la reducción de un mayor contenido humedad, por esta razón, adicionalmente se colocaron las briquetas en la estufa a una temperatura constante de 80°C durante 5 horas, con la finalidad de reducir la humedad y así poder obtener un producto con mejores características, ver Figura 15 y 16.

Figura 15

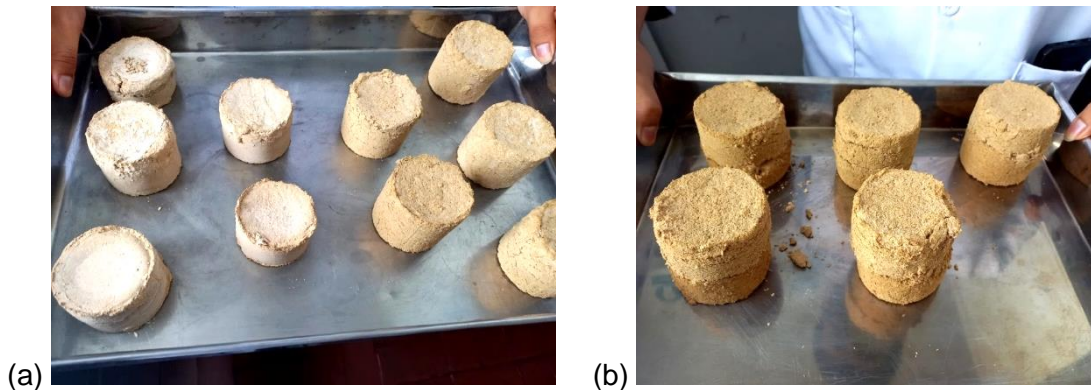
Secado de briquetas



Nota. (a) y (b) Subproceso del secado de briquetas en la estufa.

Figura 16

Briquetas obtenidas mediante el subproceso de secado



Nota. (a) Izquierda: briquetas con proporción de mezcla 50/50, Derecha: briquetas con proporción de mezcla 70/30 y (b) Briquetas con proporción de mezcla 90/10.

Etapa 3: Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas

Las briquetas fueron analizadas por el Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), considerando los parámetros del análisis proximal, tales como la humedad, materia volátil, contenido de ceniza y carbono fijo. Las técnicas de análisis de cada uno de estos parámetros, se aplicaron de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D7582, ver anexo 6.

Por otra parte, la densidad aparente se calculó en función a la ecuación (5), explicada en la etapa 1 del procedimiento.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en la NTC 2060 para las briquetas del tipo 2, con el fin de establecer la proporción de la mezcla que mejore las propiedades fisicoquímicas de las briquetas.

Etapa 4: Evaluación de las propiedades energéticas de las briquetas

El análisis del poder calorífico de las briquetas fue realizado por el laboratorio LER de la UNALM, mediante un análisis de contenido energético. El método estándar aplicado por el laboratorio fue la norma ASTM D5865, por consiguiente, utilizaron un calorímetro de bomba de oxígeno adiabático, ver anexo 6.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población se encuentra definida por todos los sujetos, animales, objetos, sucesos etc., que intervienen en el experimento y que forman parte de un grupo con determinadas especificaciones (Camacho, 2008). Por esta razón, en la presente investigación la población estuvo conformada por 15 briquetas elaboradas a partir de cascarilla de café.

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Mezcla de biomasa y aglutinante de consistencia viscosa, homogénea y sin grumos.
- Briquetas de consistencia uniforme.
- Briquetas de forma regular.
- Briquetas compactas, no quebradizas.
- Briquetas con mínima cantidad de fisuras o grietas.

4.3.2 Muestra

Se estableció en base a la técnica de muestreo no probabilístico del tipo por conveniencia, que consiste en seleccionar la muestra mediante métodos no aleatorios o de acuerdo al criterio e intención del investigador, siendo su implementación una de las más económicas (Arias, Villasís, y Miranda, 2016).

En el presente estudio, la muestra estuvo conformada por 9 briquetas elaboradas a partir de cascarilla de café. El tamaño de la muestra se determinó en función a la cantidad de réplicas necesarias para encontrar diferencias significativas entre grupos, considerando como mínimo 3 réplicas para cada uno de los 3 grupos (proporción de cascarilla de café /Aglutinante: 50/50, 70/30 y 90/10).

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar donde se desarrolló la parte experimental fue en los laboratorios del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria (IIEA) de la Universidad Nacional del Callao, durante los meses de agosto y setiembre.

Los análisis fisicoquímicos y energéticos fueron realizados en el Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1 Técnica

La técnica utilizada en el presente estudio fue la observación, debido a que busca percibir activamente la realidad exterior con el propósito de obtener datos que, previamente, han sido definidos como de interés para la investigación. Estos datos fueron recopilados en fichas de recolección de datos, de acuerdo a los objetivos planteados, tal y como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Técnica

Técnica	Instrumento de recolección de datos
Observación	Ficha 01: A. Características de la cascarilla de café (Anexo 2). B. Proporciones de mezcla de cascarilla de café y aglutinante (Anexo 2). C. Propiedades fisicoquímicas de las briquetas como biocombustible sólido (Anexo 2). D. Propiedades energéticas de las briquetas como biocombustible sólido (Anexo 2).

4.5.2 Instrumentos de medición

Los instrumentos son aquellos que nos permiten medir y recopilar datos. Las técnicas analíticas mostradas en la Tabla 15, son protocolos que describen los procedimientos, equipos e instrumentos para la medición de los parámetros mostrados en dicha tabla, además estos protocolos se encuentran normados por la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés.

Tabla 15*Método e instrumentos de medición*

Parámetro	Instrumento	Técnica o método analítico
Biomasa (cascarilla de café)		
Humedad	Estufa	ASTM D4442
Materia volátil	Analizador termogravimétrico	ASTM D7582
Contenido de cenizas	Mufla	ASTM D-1762S (2001)
Carbono fijo	Cálculo	ASTM D-3172
Densidad aparente	Balanza analítica	-
Poder calorífico superior	Cálculo (Cordero <i>et al.</i> , 2001)	-
Briquetas		
Análisis Proximal (Humedad, materia volátil, ceniza, carbono fijo)	Analizador termogravimétrico	ASTM D7582
Poder calorífico superior	Calorímetro de bomba de oxígeno adiabático	ASTM D5865
Densidad aparente	Balanza analítica	-

Nota: ASTM D4442: Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad de la madera y los materiales a base de madera. ASTM D7582: Métodos de prueba estándar para el análisis proximal de carbón y coque mediante análisis termogravimétrico macro. ASTM D1762-84 (2001): Método de prueba estándar para análisis químico de carbón vegetal. ASTM D3172-13(2021): Práctica estándar para el análisis proximal de carbón y coque. ASTM D5865: Método de prueba estándar para el poder calorífico bruto del carbón y el coque.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Para encontrar diferencias entre grupos o niveles (proporción de cascarilla de café en la briqueta) de un factor o el efecto de este factor sobre una variable de respuesta (humedad, ceniza, materia volátil, densidad aparente, poder calorífico y carbono fijo), se utiliza el análisis de varianza (ANOVA), sin embargo, para su aplicación sobre los datos se requiere de un procedimiento previo, tal y como se describe a continuación.

Con el fin de establecer el análisis estadístico adecuado, se analizó la distribución de los datos de las variables de respuesta (humedad, cenizas, materia volátil, carbono fijo, poder calorífico superior y densidad aparente) mediante el estadístico de prueba Shapiro Wilk. Asimismo, para establecer la homogeneidad de varianzas se utilizó la prueba de Levene.

El análisis de datos se realizó mediante el software estadístico SPSS.

A continuación, en la Tabla 16 se muestran los resultados:

Tabla 16

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

Proporción de la cascarilla de café		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de Humedad	50% de CC	0.878	3	0.320
	70% de CC	0.944	3	0.542
	90% de CC	0.974	3	0.689
Porcentaje de Ceniza	50% de CC	0.964	3	0.637
	70% de CC	0.936	3	0.510
	90% de CC	1.000	3	1.000
Porcentaje de Materia Volátil	50% de CC	0.843	3	0.223
	70% de CC	0.834	3	0.200
	90% de CC	0.939	3	0.525
Porcentaje de Carbono Fijo	50% de CC	0.803	3	0.122
	70% de CC	0.992	3	0.826
	90% de CC	0.831	3	0.190
Poder Calorífico	50% de CC	0.972	3	0.681
	70% de CC	0.950	3	0.571
	90% de CC	0.980	3	0.726
Densidad Aparente	50% de CC	0.923	3	0.463
	70% de CC	0.878	3	0.317
	90% de CC	0.820	3	0.162

Nota: CC: Cascarilla de café

De la Tabla 16 se deduce que todos los datos que conforman cada grupo de la variable de respuesta tienen una distribución normal, ya que su p valor es mayor a 0.05.

Tabla 17

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

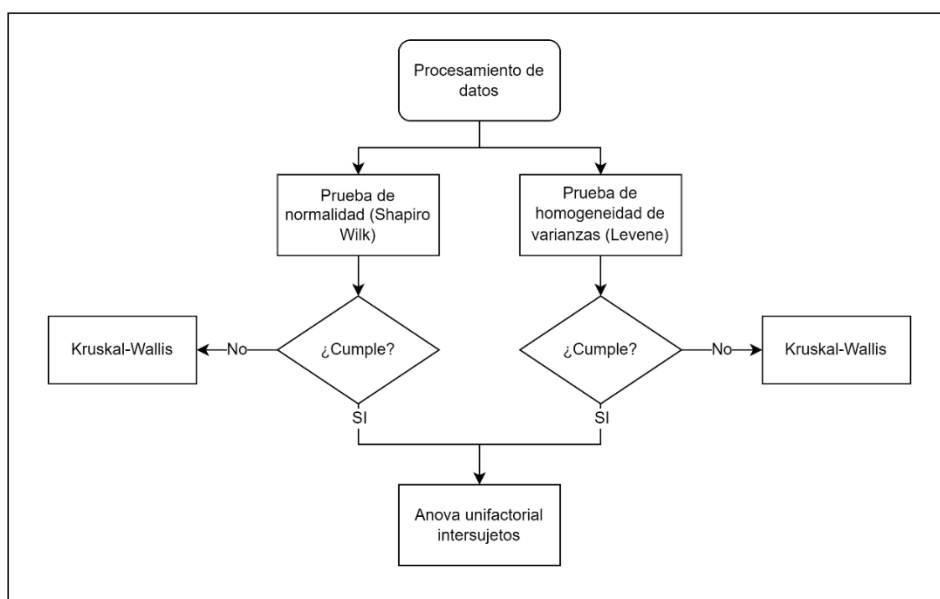
Propiedades Fisicoquímicas y energéticas	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Porcentaje de Humedad	3.957	2	6	0.080
Porcentaje de Ceniza	5.272	2	6	0.048
Porcentaje de Materia Volátil	2.625	2	6	0.152
Porcentaje de Carbono Fijo	0.163	2	6	0.853
Poder Calorífico	0.808	2	6	0.489
Densidad Aparente	6.700	2	6	0.030

De la Tabla 17 se puede deducir que los parámetros que cumplen con la homogeneidad de varianzas en cada grupo son humedad, materia volátil, carbono fijo y poder calorífico superior a excepción de porcentaje de ceniza y densidad aparente.

En función a los resultados anteriores (supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas) se estableció el análisis estadístico que permitió establecer diferencias entre grupos, ver Figura 17.

Figura 17

Elección del análisis estadístico



Luego de determinar el análisis estadístico para establecer diferencias entre grupos (proporciones de cascarilla de café) se aplicó la prueba Post Hoc o comparaciones múltiples, con el fin de identificar los grupos que son diferentes.

Por otra parte, para establecer si los valores de los parámetros fisicoquímicos y energéticos de las briquetas se encontraron dentro de los rangos establecidos por la normativa NTC 2060, se utilizó la prueba estadística T de Student unilateral, el cual presenta dos casos:

- En el primer caso, la hipótesis nula se establece como una media mayor o igual a lo establecido en la literatura y como hipótesis alterna una media menor a dicho valor; según se observa a continuación:

$H_0: \mu \geq (\text{valor de la norma})$

$H_a: \mu < (\text{valor de la norma})$

Donde la decisión se toma de la siguiente forma:

Si el estadístico T de Student es positivo, no se rechaza la hipótesis nula.

Si el estadístico T de Student es negativo, se procede a comparar el p valor dividido entre 2 con el nivel de significancia, teniendo lo siguiente:

$P \text{ valor}/2 < a 0.05$ se rechaza la hipótesis nula.

- Para el segundo caso la hipótesis nula se establece como una media menor o igual a lo establecido en la literatura y como hipótesis alterna una media mayor a dicho valor; según se observa a continuación:

$H_0: \mu \leq (\text{valor de la norma})$

$H_a: \mu > (\text{valor de la norma})$

Donde la decisión se toma de la siguiente manera:

Si el estadístico T de Student es negativo, no se rechaza la hipótesis nula.

Si el estadístico T de Student es positivo, se procede a comparar el p valor dividido entre 2 con el nivel de significancia, teniendo lo siguiente:

$P \text{ valor}/2 < a 0.05$ se rechaza la hipótesis nula

4.7 Aspectos éticos en investigación

Los autores de esta investigación aseguran la originalidad de los datos y se someten a todas las medidas que las normas de ética de la Universidad Nacional del Callao dispongan.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

En la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café y las briquetas:

Tabla 18

Resultados fisicoquímicos y energéticos de la cascarilla de café y briquetas

Propiedades fisicoquímicas y energéticas	Cascarilla de café			P1 (50%)			P2 (70%)			P3 (90%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Densidad aparente (g/cm ³)	0.131	0.132	0.135	0.92	0.95	0.96	0.85	0.82	0.99	0.69	0.66	0.98
Humedad (%)	11.11	10.30	10.70	12.77	15.50	12.18	12.51	12.09	11.92	12.20	10.80	10.02
Ceniza (%)	2.00	1.50	1.50	0.20	0.21	0.18	0.35	0.43	0.46	0.50	0.50	0.50
Material volátil (%)	77.31	76.73	75.22	82.45	78.73	82.99	78.12	79.36	77.96	76.15	78.44	79.33
Carbono fijo (%)	9.58	11.47	12.58	4.59	5.57	4.66	9.02	8.14	9.66	11.16	10.26	10.15
Poder calorífico (MJ/kg)	16.60	17.17	17.30	18.81	19.29	18.98	19.20	19.63	19.50	19.78	19.93	19.69

5.1.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica y energética del residuo cascarilla de café

En la Tabla 19 se puede observar los valores de la caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café, donde los parámetros como humedad, ceniza, materia volátil y poder calorífico se encuentran dentro del rango establecido según literatura, sin embargo, el resultado obtenido en carbono fijo no se encuentra dentro del rango establecido según literatura.

Tabla 19

Caracterización fisicoquímica y energética de la cascarilla de café

Parámetro	Media	Desviación estándar	Rangos según literatura (*)
Densidad aparente (g/cm ³)	0.13	0.002	--
Humedad (%)	10.70	0.405	8 – 12
Ceniza (%)	1.67	0.289	0.6 – 10.5
Material volátil (%)	76.42	1.079	>70
Carbono fijo (%)	11.21	1.517	15 – 25
Poder calorífico (MJ/kg)	17.02	0.372	15 – 20

(*) Referencia bibliográfica de la Humedad (Kaliyan y Vance Morey, 2009), Ceniza (Bastidas, Melo y Torres 2019), Materia Volátil (Lubwama e Yiga, 2017) Carbono Fijo (Todaro *et al.*, 2015), Poder Calorífico (Erol *et al.*, 2010).

5.1.2 Resultados de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas

Humedad

En la Tabla 20 se presentan los resultados descriptivos del contenido de humedad por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el mayor porcentaje de humedad con un valor de 13.48%, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un valor de 12.17% y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un valor de 11.01%.

Tabla 20

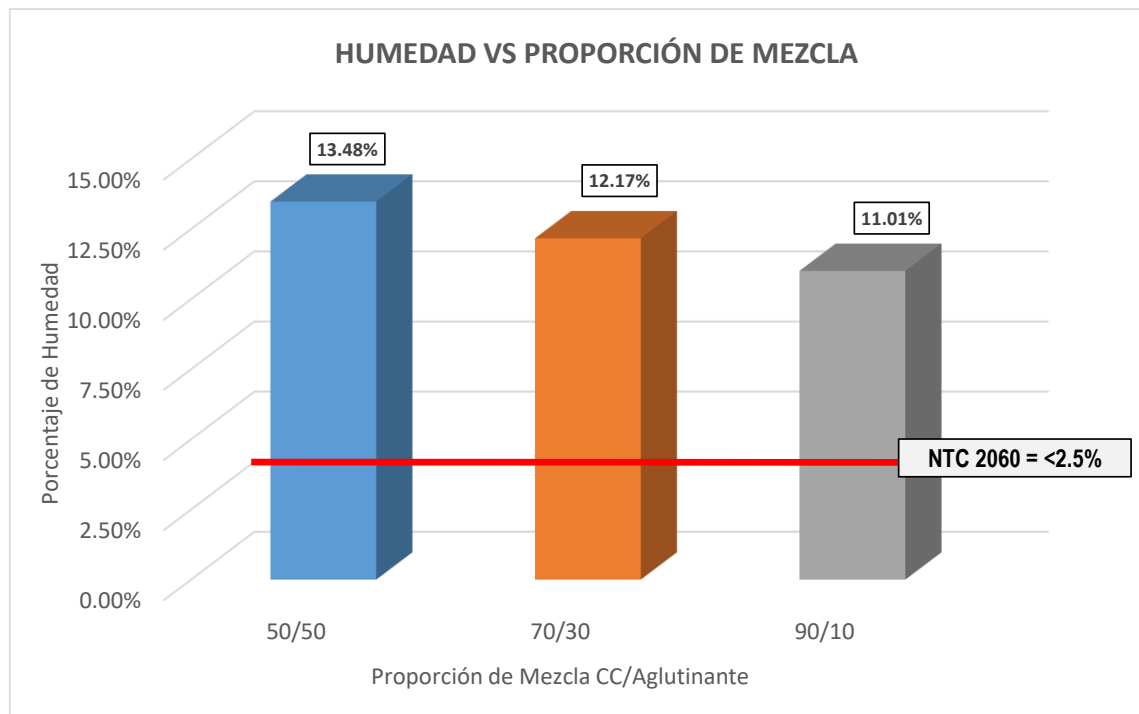
Contenido de humedad en las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	13.48%	1.77%
P2 (70%)	12.17%	0.30%
P3 (90%)	11.01%	1.10%

En la Figura 18 se presenta el contenido de humedad por cada proporción y su comparación con la norma NTC 2060.

Figura 18

Comparación de humedad con la norma NTC 2060



Ceniza

A continuación, en la Tabla 21 se presentan los resultados descriptivos del contenido de ceniza por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el menor porcentaje de ceniza con un valor de 0.20%, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un valor de 0.41% y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un valor de 0.50%.

Tabla 21

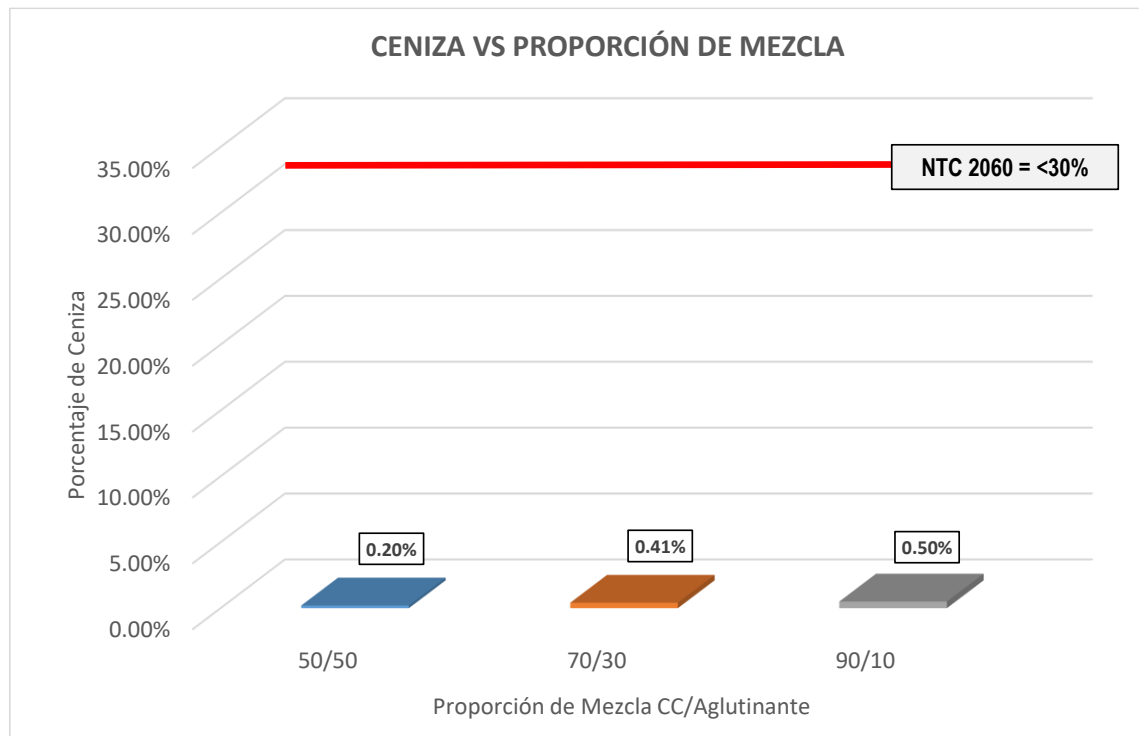
Contenido de ceniza en las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	0.20%	0.02%
P2 (70%)	0.41%	0.06%
P3 (90%)	0.50%	0.00%

En la Figura 19 se representa el contenido de ceniza por cada proporción y su comparación con la norma NTC 2060.

Figura 19

Comparación de la ceniza con la norma NTC 2060



Materia volátil

En la Tabla 22 se presentan los resultados descriptivos del contenido de ceniza por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el mayor porcentaje de materia volátil con un 81.39%, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un 78.48% de materia volátil y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un 77.97% de materia volátil.

Tabla 22

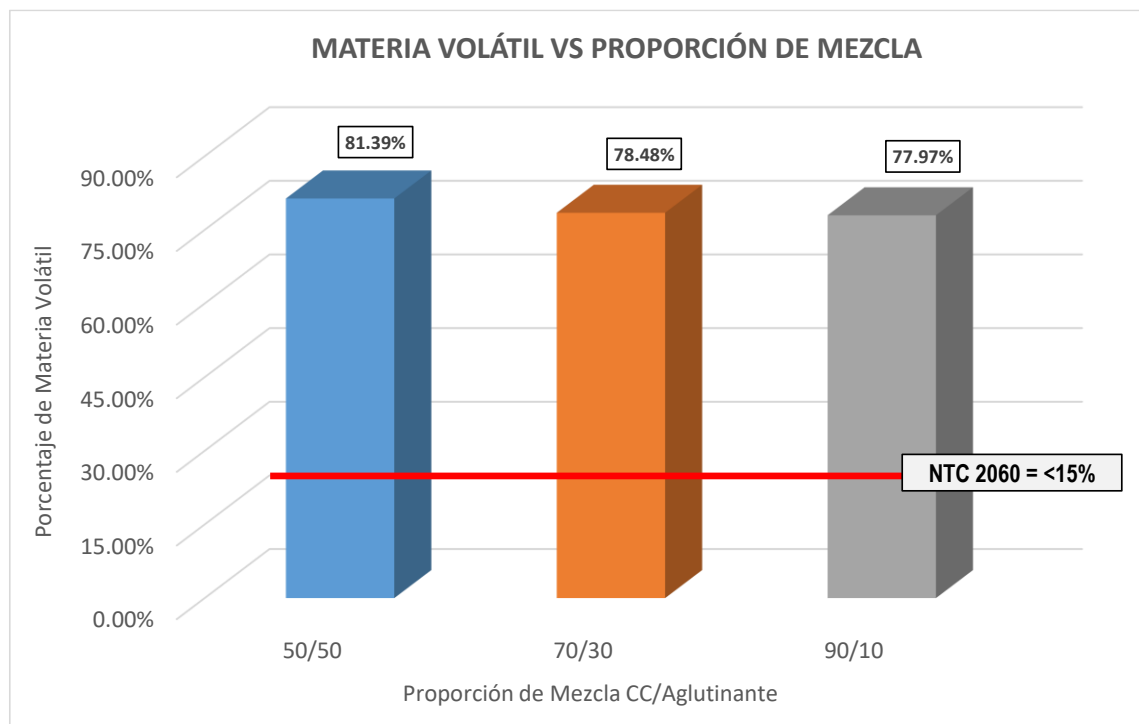
Contenido de materia volátil en las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	81.39%	2.32%
P2 (70%)	78.48%	0.77%
P3 (90%)	77.97%	1.64%

En la Figura 20 se representa el contenido de materia volátil por cada proporción y su comparación con la norma NTC 2060.

Figura 20

Comparación de la materia volátil con la norma NTC 2060



Carbono fijo

En la Tabla 23 se presentan los resultados descriptivos del contenido de carbono fijo por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el menor porcentaje de carbono fijo con un valor de 4.94%, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un valor de 8.94% y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un valor de 10.52%.

Tabla 23

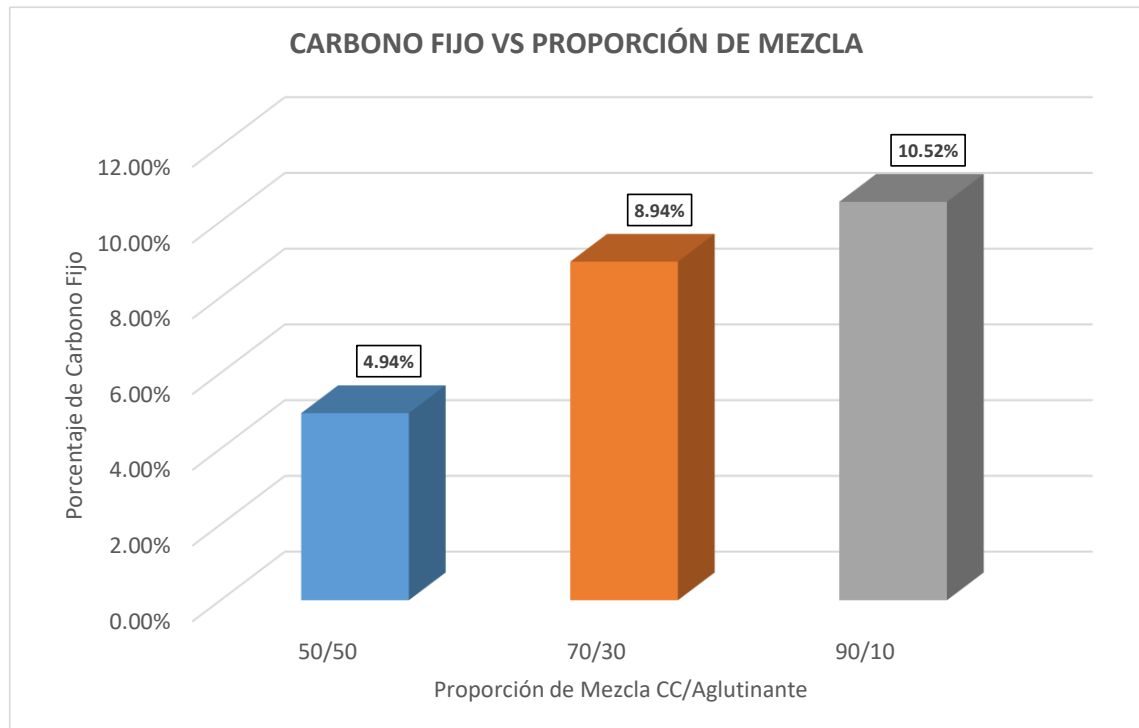
Contenido de carbono fijo en las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	4.94%	0.55%
P2 (70%)	8.94%	0.76%
P3 (90%)	10.52%	0.55%

En la Figura 21 se representa el contenido de carbono fijo por cada proporción.

Figura 21

Resultados del carbono fijo



Densidad Aparente

En la Tabla 24 se presentan los resultados descriptivos del contenido de densidad aparente por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el mayor porcentaje de densidad aparente con un valor de 0.94 g/cm³, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un valor de 0.89 g/cm³ y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un valor de 0.78 g/cm³.

Tabla 24

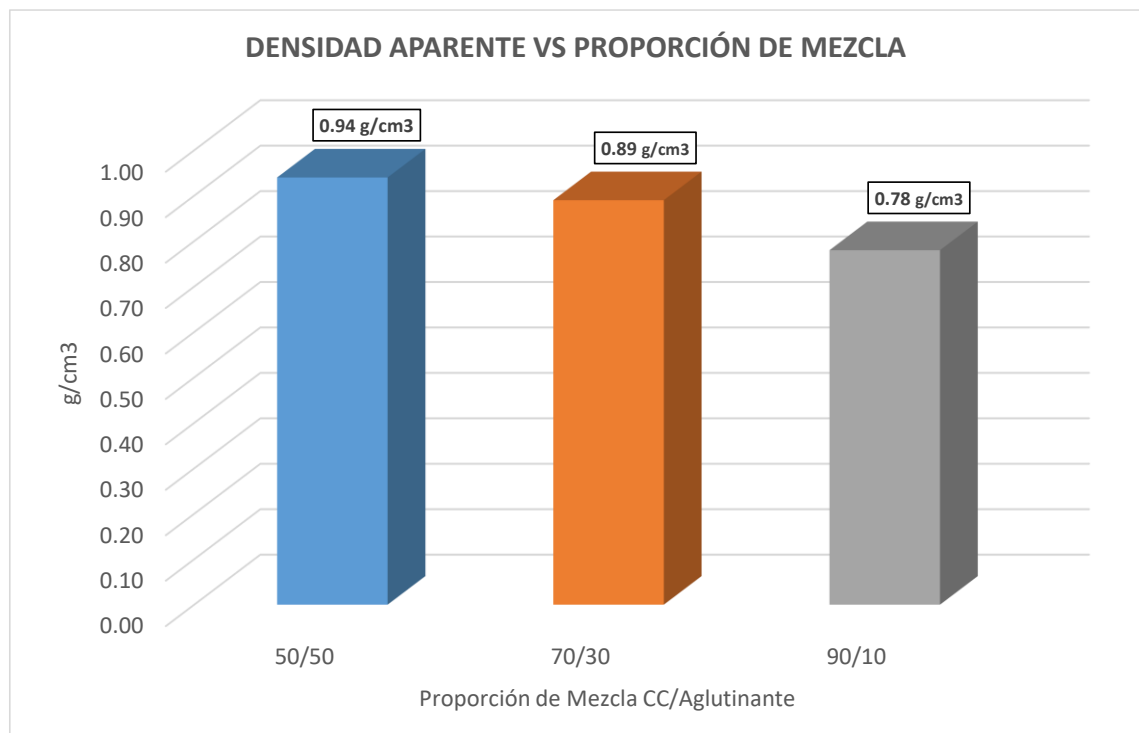
Densidad aparente de las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	0.94 g/cm ³	0.02
P2 (70%)	0.89 g/cm ³	0.09
P3 (90%)	0.78 g/cm ³	0.18

En la Figura 22 se representa el contenido de densidad aparente por cada proporción.

Figura 22

Densidad aparente de las briquetas



5.1.3 Resultados de las propiedades energéticas de las briquetas

Poder calorífico

En la Tabla 25 se presentan los resultados descriptivos del contenido de poder calorífico por cada proporción, donde se puede observar que la proporción 1 (50% de CC) contiene el menor porcentaje de poder calorífico con un valor de

19.04 MJ/kg, seguido de la proporción 2 (70% de CC) con un valor de 19.45 MJ/kg y finalmente la proporción 3 (90% de CC) con un valor de 19.82 MJ/kg.

Tabla 25

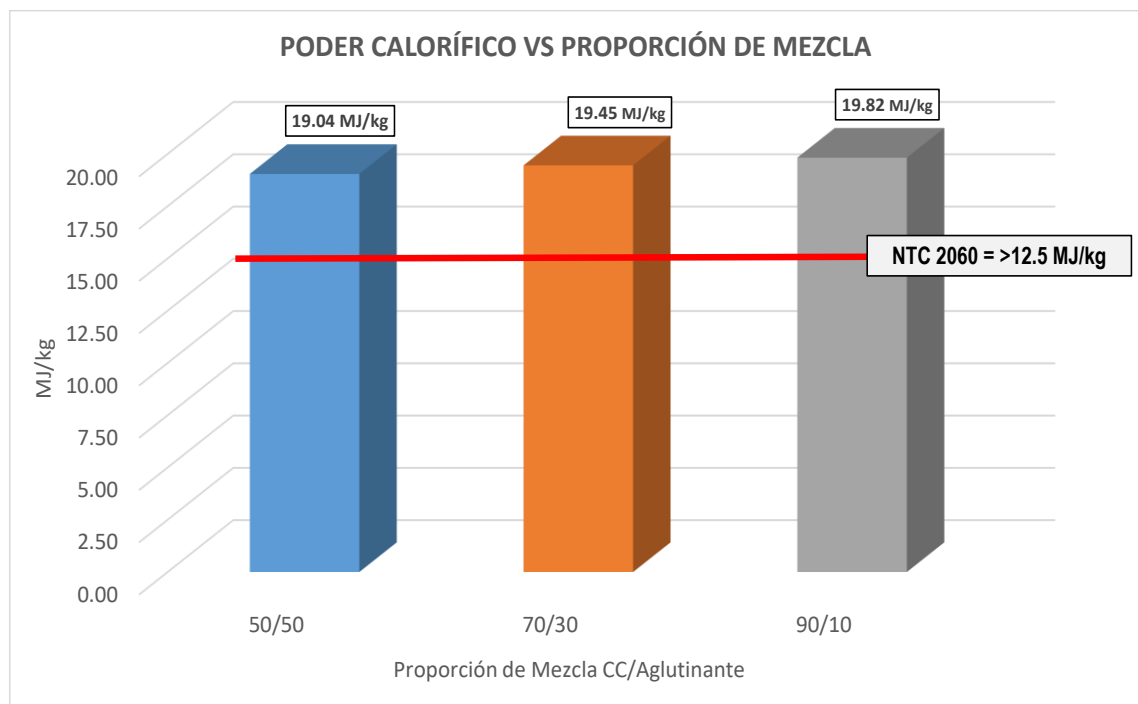
Contenido de poder calorífico en las briquetas

Proporción	Media	Desviación estándar
P1 (50%)	19.04 MJ/kg	0.25 MJ/kg
P2 (70%)	19.45 MJ/kg	0.22 MJ/kg
P3 (90%)	19.82 MJ/kg	0.12 MJ/kg

En la Figura 23 se representa el contenido de poder calorífico por cada proporción y su comparación con la norma NTC 2060.

Figura 23

Comparación del poder calorífico con la norma NTC 2060



5.1.4 Prueba de la hipótesis específica 1

Hipótesis Específica 1

H₀: Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café no se diferencian de los rangos encontrados en la literatura de los antecedentes.

H_a: Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café si se diferencian de los rangos encontrados en la literatura de los antecedentes.

Comparación de Resultados

En la Tabla 26 se presenta los resultados de la caracterización fisicoquímica y energética del residuo cascarilla de café y su comparación con los rangos indicados en la literatura.

Tabla 26

Caracterización fisicoquímica y energética del residuo cascarilla de café

Propiedades fisicoquímicas y energéticas	Cascarilla de café \bar{X}	Rango según Literatura (*) μ
Humedad (%)	10.70	8 – 12
Ceniza (%)	1.67	0.6-10.5
Materia volátil (%)	77.02	>70
Carbono fijo (%)	10.53	15-25
Poder calorífico (MJ/kg)	16.88	15-20

(*) Referencia bibliográfica de la Humedad (Kaliyan y Vance Morey, 2009), Ceniza (Bastidas, Melo y Torres 2019), Materia Volátil (Lubwama e Yiga, 2017) Carbono Fijo (Todaro *et al.*, 2015), Poder Calorífico (Erol *et al.*, 2010).

Respuesta

De la Tabla 26 se puede observar que las propiedades fisicoquímicas y energéticas como la humedad, ceniza, materia volátil y poder calorífico se encuentran dentro de los rangos establecidos a excepción del carbono fijo que se encuentra por debajo del rango estipulado en la literatura, por lo que se acepta la hipótesis alterna "Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café si se diferencian de los rangos encontrados en la literatura de los antecedentes".

5.2 Resultados inferenciales

5.2.1 Prueba de la hipótesis específica 2

Hipótesis 2

H₀: La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es menor igual a 1.

H_a: La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1.

Con el fin de poder determinar la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas, se establecieron sub hipótesis por cada una de las propiedades fisicoquímicas y energéticas de las briquetas:

a) Poder calorífico

H_a: Existen diferencias de Poder calorífico entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

H₀: No existen diferencias de Poder calorífico entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 27

Intervalos de confianza para la media de poder calorífico (95%)

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media	19.03	19.44	19.80
Error estándar	0.14	0.13	0.07
IC 95% Límite inferior	18.42	18.90	19.50
IC 95% Límite superior	19.63	19.99	20.10

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: Se utilizó el análisis de varianza como estadístico de prueba debido a que los datos de poder calorífico en los diferentes grupos

(proporciones de cascarilla de café) cumplen con el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza.

Tabla 28

Análisis de varianza para el poder calorífico

Propiedad energética		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P valor
Poder calorífico	Entre grupos	0.90	2	0.45	11.00	0.01

Cálculo del p valor: 0.01

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error del 1% menor al nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna de que “Existen diferencias de poder calorífico entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

Tabla 29

Prueba de comparaciones múltiples para poder calorífico

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p valor
Poder calorífico	50% de CC	70% de CC	-0.42	0.17	0.10
		90% de CC	-0.77333*	0.17	0.01
	70% de CC	50% de CC	0.42	0.17	0.10
		90% de CC	-0.36	0.17	0.16
	90% de CC	50% de CC	0.77333*	0.17	0.01
		70% de CC	0.36	0.17	0.16

Nota: CC: Cascarilla de café

De acuerdo a la Tabla 29 sólo se puede afirmar que las briquetas con 90% de cascarilla de café tienen mayor poder calorífico que el 50%.

b) Humedad

Ha: Existen diferencias de contenido de humedad entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Ho: No existen diferencias de contenido de humedad entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 30

Intervalos de confianza para la media del contenido de humedad (95%)

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media	13.48	12.17	11.01
Error estándar	1.02	0.18	0.64
IC 95% Límite inferior	9.08	11.42	8.26
IC 95% Límite superior	17.88	12.93	13.75

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: Se utilizó el análisis de varianza como estadístico de prueba debido a que los datos de contenido de humedad en los diferentes grupos (proporciones de cascarilla de café) cumplen con el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza.

Tabla 31

Análisis de varianza para el contenido de humedad

Propiedad fisicoquímica	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P valor
Humedad Entre grupos	9.21	2	4.61	3.11	0.12

Cálculo del p valor: 0.12

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error del 12% mayor al nivel de significancia del 5%, se acepta la hipótesis nula de que “No existen diferencias de contenido de humedad entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

c) **Materia volátil**

Ha: Existen diferencias de contenido de materia volátil entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Ho: No existen diferencias de contenido de materia volátil entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 32

Intervalos de confianza para la media del contenido de materia volátil (95%)

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media	81.39	78.48	77.97
Error estándar	1.34	0.44	0.95
IC 95% Límite inferior	75.63	76.58	73.90
IC 95% Límite superior	87.15	80.38	82.05

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: Se utilizó el análisis de varianza como estadístico de prueba debido a que los datos de contenido de materia volátil en los diferentes grupos (proporciones de cascarilla de café) cumplen con el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza.

Tabla 33

Análisis de varianza para el contenido de materia volátil

Propiedad fisicoquímica	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P valor
Materia volátil Entre grupos	20.40	2	10.20	3.53	0.10

Cálculo del p valor: 0.10

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error del 10% mayor al nivel de significancia del 5%, se acepta la hipótesis nula de que “No existen diferencias de contenido de materia volátil entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

d) Carbono fijo

Ha: Existen diferencias de carbono fijo entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Ho: No existen diferencias de carbono fijo entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 34

Intervalos de confianza para la media de carbono fijo (95%)

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media	4.94	8.94	10.52
Error estándar	0.32	0.44	0.32
IC 95% Límite inferior	3.58	7.04	9.15
IC 95% Límite superior	6.30	10.84	11.90

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: Se utilizó el análisis de varianza como estadístico de prueba debido a que los datos de carbono fijo en los diferentes grupos (proporciones de cascarilla de café) cumplen con el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza.

Tabla 35

Análisis de varianza para el carbono fijo

Propiedad fisicoquímica	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P valor
Carbono Fijo Entre grupos	49.68	2	24.84	62.71	0.00

Cálculo del p valor: 0.00

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error del 0% menor al nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna de que “Existen diferencias de carbono fijo entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

Tabla 36*Prueba de comparaciones múltiples para carbono fijo*

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p valor
Carbono Fijo	50% de CC	70% de CC	-4.00000*	0.51	0.00
		90% de CC	-5.58333*	0.51	0.00
	70% de CC	50% de CC	4.00000*	0.51	0.00
		90% de CC	-1.58333*	0.51	0.05
	90% de CC	50% de café	5.58333*	0.51	0.00
		70% de CC	1.58333*	0.51	0.05

Nota: CC: Cascarilla de café

De acuerdo a la Tabla 36 sólo se puede afirmar que las briquetas con 70% de cascarilla de café tienen mayor contenido de carbono fijo que las de 50%. De igual manera, las briquetas de 90% de cascarilla de café tienen mayor contenido de carbono fijo que las de 50% y 70%.

e) Ceniza

Ha: Existen diferencias de ceniza entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Ho: No existen diferencias de ceniza entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 37*Intervalos de confianza para la media del contenido de ceniza (95%)*

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media	0.20	0.41	0.5
Error estándar	0.01	0.03	0.01
IC 95% Límite inferior	0.16	0.27	0.48
IC 95% Límite superior	0.23	0.55	0.52

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: se utilizó el estadístico de prueba Kruskal Wallis debido a que los datos del contenido de cenizas en los diferentes grupos (proporciones

de cascarilla de café) no cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 38

Pruebas de Kruskal Wallis para contenido de ceniza

Propiedad fisicoquímica	p valor
Contenido de ceniza	0.03

Cálculo del p valor: 0.03

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error de 4.3% menor al nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna de que “Existen diferencias de ceniza entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

Tabla 39

Prueba de comparaciones múltiples para ceniza

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p valor
50% de CC	70% de CC	-0.2167*	0.028	0.001
	90% de CC	-0.3033*	0.028	0.000
70% de CC	50% de CC	0.2167*	0.028	0.001
	90% de CC	-0.0867*	0.028	0.049
90% de CC	50% de CC	0.3033*	0.028	0.000
	70% de CC	0.0867*	0.028	0.049

Nota: CC: Cascarilla de café

De acuerdo a la Tabla 39 sólo se puede afirmar que las briquetas con 70% de cascarilla de café tienen mayor contenido de Ceniza que las de 50%. De igual manera, las briquetas de 90% de cascarilla de café tienen mayor contenido de Ceniza que las de 50% y 70%.

f) Densidad aparente

Ha: Existen diferencias de densidad aparente entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Ho: No existen diferencias de densidad aparente entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café.

Tabla 40

Intervalos de confianza para la media de densidad aparente (95%)

Medidas	P1 (50%)	P2 (70%)	P3 (90%)
Media =	0.94	0.89	0.78
Error estándar =	0.01	0.05	0.10
IC 95% Límite inferior =	0.89	0.66	0.34
IC 95% Límite superior =	1.00	1.11	1.22

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Estadístico de prueba: Se utilizó el estadístico de prueba Kruskal Wallis debido a que los datos de la densidad aparente en los diferentes grupos (proporciones de cascarilla de café) no cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 41

Pruebas de Kruskal Wallis para la densidad aparente

Propiedad física	p valor
Densidad aparente	0.56

Cálculo del p valor: 0.56

Toma de decisión:

Con una probabilidad de error del 63.8% mayor al nivel de significancia del 5%, se acepta la hipótesis nula de que “No existen diferencias de densidad aparente entre las briquetas elaboradas a distintas proporciones de cascarilla de café”.

Tabla 42*Resumen de pruebas estadísticas para el análisis de la calidad de las briquetas*

Propiedades fisicoquímicas y energéticas	p valor	Diferencias entre grupos (si/no)	Orden de diferencias
Humedad	0.12	NO	-
Ceniza	0.03	SI	P90%>P70%>P50%
Materia Volátil	0.10	NO	-
Carbono fijo	0.00	SI	P90%>P70%>P50%
Poder Calorífico	0.01	SI	P90%>P50%
Densidad Aparente	0.56	NO	-

Respuesta

De la Tabla 42 se puede observar que las proporciones que mejoran la calidad de las briquetas en función a sus propiedades fisicoquímicas y energéticas son las de 90% y 70%, es decir las que tienen una relación cascarilla de café / aglutinante mayor a 1, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna de que: La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1.

5.2.2 Prueba de la hipótesis específica 3

H₀: Las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060.

H_a: Las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido no cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060.

Nivel de Significación: $p = 0.05$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Estadístico de Prueba "t de Student"

Comparación de Resultados

Tabla 43

Resultados de la prueba de hipótesis unilateral para los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Proporción	Hipótesis	t	p valor	Decisión
Humedad	P1 (50%)	H ₀ : $\mu \leq 2.5$ H _a : $\mu > 2.5$	10.74	0.0043	R H ₀
	P2 (70%)	H ₀ : $\mu \leq 2.5$ H _a : $\mu > 2.5$	55.16	0.00016	R H ₀
	P3 (90%)	H ₀ : $\mu \leq 2.5$ H _a : $\mu > 2.5$	13.39	0.0028	R H ₀
Ceniza	P1 (50%)	H ₀ : $\mu \leq 30$ H _a : $\mu > 30$	-3379.38	0.000	NR H ₀
	P2 (70%)	H ₀ : $\mu \leq 30$ H _a : $\mu > 30$	-901.22	0.0000	NR H ₀
	P3 (90%)	H ₀ : $\mu \leq 30$ H _a : $\mu > 30$	-5109.55	0.000	NR H ₀
Materia volátil	P1 (50%)	H ₀ : $\mu \leq 15$ H _a : $\mu > 15$	49.57	0.0002	R H ₀
	P2 (70%)	H ₀ : $\mu \leq 15$ H _a : $\mu > 15$	143.48	0.0000	R H ₀
	P3 (90%)	H ₀ : $\mu \leq 15$ H _a : $\mu > 15$	66.48	0.0001	R H ₀
Carbono fijo	P1 (50%)	H ₀ : $\mu \geq 50$ H _a : $\mu < 50$	-142.75	0.0000	R H ₀
	P2 (70%)	H ₀ : $\mu \geq 50$ H _a : $\mu < 50$	-93.190	0.0000	R H ₀
	P3 (90%)	H ₀ : $\mu \geq 50$ H _a : $\mu < 50$	-123.398	0.0000	R H ₀

Nota: R H₀: se rechaza la hipótesis nula; NR H₀: No se rechaza la hipótesis nula.

Respuesta

De la Tabla 43 se infiere que solo el contenido de ceniza se encuentra por debajo de lo establecido en la norma NTC 2060, el cual establece que el porcentaje debe ser menor o igual al 30%. Mientras que los otros parámetros fisicoquímicos no cumplen con dicha norma.

5.2.3 Prueba de la hipótesis específica 4

H₀: La briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico, igual o mayor a 12.50 MJ/kg.

H_a: La briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico, menor a 12.50 MJ/kg.

Nivel de Significación: p = 0.05

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Estadístico de Prueba "t de Student"

Comparación de Resultados

Tabla 44

Resultados de la prueba de hipótesis unilateral para el poder calorífico

Parámetro	Proporción	Hipótesis	t	p valor	Decisión
Poder calorífico (MJ/kg)	P1 (50%)	H ₀ : μ ≥ 12.5 H _a : μ < 12.5	46.448	0.0005	NR H ₀
	P2 (70%)	H ₀ : μ ≥ 12.5 H _a : μ < 12.5	54.533	0.0003	NR H ₀
	P3 (90%)	H ₀ : μ ≥ 12.5 H _a : μ < 12.5	104.286	0.0001	NR H ₀

Nota: R H₀: se rechaza la hipótesis nula; NR H₀: No se rechaza la hipótesis nula.

Respuesta

De la Tabla 44 se infiere que todas las briquetas elaboradas a base de diferentes proporciones de cascarilla de café cumplen con lo establecido en la norma técnica NTC 2060, es decir tienen un poder calorífico mayor a 12.5 MJ/kg.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1 Contrastación y demostración de la hipótesis general con los resultados

La hipótesis general planteada señala que la calidad de las briquetas como biocombustible sólido elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón se evalúa en base al cumplimiento de la norma NTC 2060. De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de las hipótesis específicas, se tiene que, no todos los parámetros cumplieron con los estándares establecidos en la norma, siendo éstos la humedad y materia volátil, los cuales reportaron valores mayores al 2.5% y 15% respectivamente; mientras que el contenido de ceniza, carbono fijo y el poder calorífico si cumplieron, con valores menores al 30%, 50%, y mayores a 12.5 MJ/kg, respectivamente.

6.1.2 Contrastación y demostración de la hipótesis específica con los resultados

La hipótesis específica 1 señala que las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café se evalúan en base al cumplimiento de los rangos establecidos en la literatura. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que, los parámetros analizados cumplieron con los rangos encontrados en la literatura de los antecedentes, a excepción del carbono fijo que presentó un valor promedio de 11.21%, por lo cual se acepta la hipótesis alterna "Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café si se diferencian de los rangos encontrados en la literatura de los antecedentes".

La hipótesis específica 2 señala que la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza se pudo inferir que con un p valor igual a 0.03 existen diferencias significativas de contenido de ceniza en las briquetas a distintas proporciones (P90%>P70%>P50%), del mismo modo con un p valor de 0.00 se pudo deducir que existen diferencias significativas en el contenido de carbono fijo de las

briquetas a diferentes proporciones (P90%>P70%>P50%). Asimismo, con un p valor de 0.01 se pudo inferir que el poder calorífico es diferente en cada briqueta elaborada a diferentes proporciones de cascarilla de café (P90%>P50%). Por lo tanto, se tiene que la calidad de las briquetas en función a sus parámetros fisicoquímicos y energéticos, mejoran al aumentar el contenido de cascarilla de café en la briqueta, en específico entre 70 y 90%, los cuales representan una relación cascarilla de café / aglutinante mayor a 1. De esta manera, se acepta la hipótesis alterna de que: La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1.

La hipótesis específica 3 señala que las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060. De acuerdo a los resultados de la prueba unilateral para el contenido de ceniza, se obtuvo un estadístico t negativo en todas las proporciones, con lo cual se afirma que este parámetro cumple con la norma, mientras que los demás parámetros obtuvieron un p valor/2 menor al 0.05, requerido en la prueba unilateral para rechazar las medias distintas a lo establecido en la norma. Por lo tanto, al tener que únicamente el contenido de ceniza cumplió con los estándares establecidos en la NTC 2060, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna: Las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido no cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060.

La hipótesis específica 4 señala que la briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico superior, igual o mayor a 12.50 MJ/kg. De acuerdo a los resultados de la prueba de hipótesis unilateral, se obtuvo un estadístico t positivo, en cada grupo o proporción (46.448 para P1, 54.533 para P2 y 104.286 para P3), por lo cual se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula: La briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico, igual o mayor a 12.50 MJ/kg.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

El método de la elaboración de briquetas consistió principalmente en un proceso de densificado de la biomasa y aglutinante, a presión constante. Sin embargo, la preparación de la biomasa o el post procesamiento de las briquetas cambiaron según autores, por ejemplo, Balseca – Sampedro *et al.*, (2018) y Pratiwi (2020) utilizaron la misma biomasa y aglutinante (borra de café y almidón de yuca), con la diferencia de que el segundo adicionó a sus briquetas un proceso térmico (Pirólisis), obteniendo así un poder calorífico de 31.587 MJ/kg, mayor a 17.21 MJ/kg reportado por Balseca – Sampedro *et al.*, (2018), lo que demuestra que las altas temperaturas reducen el contenido de humedad y ceniza, mejorando el valor del poder calorífico. Adicionalmente, el acondicionamiento de la biomasa antes del densificado, mediante la reducción del tamaño de partícula (Setter *et al.*, 2020) o la incineración de la materia prima (Akolgo *et al.*, 2021 y Bot *et al.*, 2021), permitieron mejorar las propiedades fisicoquímicas y energéticas de la briqueta, por ejemplo, briquetas elaboradas con partículas de cascarilla de café menores a 1.2 mm demostraron tener mejores propiedades estructurales con respecto a su densidad aparente y compactación (Setter *et al.*, 2020). Esto coincide con el presente estudio, realizando también el tamizado de la cascarilla de café hasta obtener partículas menores o iguales a 1 mm.

Para la elaboración de las briquetas se eligieron diferentes fuentes de biomasa o materia prima. Por ejemplo, en la presente investigación se utilizó la cascarilla de café como materia prima coincidiendo con Magezi (2021) y Setter *et al.*, (2020), pero difiriendo con los autores Balseca – Sampedro *et al.*, (2018) y Pratiwi (2020) que emplearon la borra de café y Vicente (2017) las hojas de caña de azúcar. Por otro lado, el aglutinante utilizado fue el almidón de yuca, el cual coincide con Akolgo *et al.*, (2021), Bot *et al.*, (2021), Cunurana (2018), Balseca – Sampedro *et al.*, (2018) y Pratiwi (2020), sin embargo, difieren con Vicente (2017), Morales (2018) y Díaz (2018), que usaron el almidón de maíz, arcilla, melaza y cáscara de papa respectivamente. Cabe destacar que en todos los estudios se reportan diversas proporciones de biomasa con aglutinante.

El secado luego de la elaboración de briquetas también fue importante, pues existe la necesidad de reducir el contenido de humedad con el fin de aumentar el poder calorífico. Es así que autores como Vicente (2017) y Cunurana (2018) secaron a las briquetas a temperatura ambiente entre los 20°C y los 25°C, mientras que los autores Balseca-Sampedro *et al.*, (2018) y Espíritu (2021) optaron por el secado en estufas con temperaturas entre 40 a 90 °C, con tiempos de secado variables. En la presente investigación se realizó el secado de las briquetas utilizando estufas y llevándose a cabo en dos etapas; en la primera etapa a una temperatura de 30°C durante los primeros 3 días y en la segunda etapa a una temperatura de 80°C durante 5 horas para el cuarto día.

Por otro parte, los resultados obtenidos en el presente estudio reportaron valores de humedad con un máximo del 13.48%, más alto que lo registrado por Balseca-Sampedro *et al.*, (2018), Akolgo *et al.*, (2021) y Magezi (2021) con humedades del 9.12%, 7.30% y 10.8% respectivamente; pero debajo del 14.59% de humedad reportado por Espíritu (2021) y del 50.31% de Morales (2018), estos valores podrían haber estado influenciados por la forma en que se llevó a cabo el proceso del secado de las briquetas.

Los resultados de materia volátil en las briquetas de cascarilla de café registraron valores muy por encima del promedio, con un máximo de 81.39%, en comparación a lo reportado por Akolgo *et al.*, (2021) y Morales (2018), con valores de 61.39% y 15.6 % respectivamente e incluso por Magezi (2021) quien reportó un 25.8% de contenido de materia volátil y que además utilizó la misma materia prima, este resultado podría deberse a que la materia prima (cascarilla de café) en el estudio de Magezi (2021) fue carbonizado a altas temperaturas.

El contenido de ceniza registró un valor máximo de 0.50%, siendo menor que lo reportado por todos los autores de nuestros antecedentes, incluso menor que Magezi (2021) quien reportó un valor de 12.5%. Si bien según Setter *et al.*, (2020), el proceso de carbonización disminuye al contenido de ceniza en la biomasa, esta afirmación se opone a los resultados obtenidos en nuestra investigación, debido a que el contenido de ceniza fue menor a lo reportado por Magezi (2021) quien sometió la misma materia prima (cascarilla de café) a un

proceso de carbonización. Cabe resaltar que el contenido de ceniza en una briqueta es indeseable, pues afecta directamente a su poder calorífico (Oliveira y Franca, 2015).

El contenido de carbono fijo registró un valor máximo de 0.94% menor a los autores como Akolgo *et al.*, (2021), Magezi (2021), Morales (2018) y Díaz (2018), que tuvieron como resultado 25.72%, 51.6%, 34.59% y 48.01% respectivamente; considerar que el carbono fijo depende de la naturaleza de cada tipo de biomasa.

Por último, en el presente estudio el poder calorífico registró un valor máximo de 17.05 MJ/kg, cercano a lo obtenido por los autores Balseca-Sampedro *et al.*, (2018), Akolgo *et al.*, (2021), Morales (2018) Vicente (2017) y Espíritu (2021), siendo sus resultados 17.21 MJ/kg, 24.69 MJ/kg, 19.71 MJ/kg, 16.6 MJ/kg y 17.06 MJ/kg respectivamente, asimismo registró un valor menor que Díaz (2018) quien reportó un 41.56 MJ/kg de poder calorífico; estos datos estuvieron en función a la materia prima y técnicas utilizadas para la elaboración de las briquetas.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en la presente tesis, estando de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la UNAC, Resolución de Consejo Universitario N. ° 260 2019-CU, donde se señala los principios éticos como norma de comportamiento conductual, por consiguiente, los tesistas somos responsables de los procesos y procedimientos de diseño, desarrollo de nuestra investigación.

VII. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la calidad de las briquetas elaboradas a partir de cascarilla de café, en base a los parámetros fisicoquímicos y energéticos establecidos en la Norma NTC 2060 (Briquetas combustibles para uso doméstico), obteniendo como resultado que todos los parámetros evaluados se encontraron dentro de los estándares establecidos en la norma, con excepción del contenido de humedad y materia volátil.
2. Se determinaron las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café, obteniéndose resultados dentro de los rangos establecidos en la literatura, a excepción del carbono fijo que presentó un valor promedio de 11.21 %.
3. Se determinó que las proporciones de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejoraron la calidad de las briquetas, fueron 70/30 y 90/10, debido a que el aumento del contenido de cascarilla de café en las briquetas incrementa su poder calorífico, confiriéndole mejores propiedades energéticas.
4. Se determinó la calidad de las briquetas en función de sus propiedades fisicoquímicas, obteniéndose que los parámetros evaluados no se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma NTC 2060, a excepción del contenido de ceniza.
5. Se determinó la calidad de las briquetas en función de sus propiedades energéticas, obteniendo como resultado un valor máximo promedio de 19.82 MJ/kg para el poder calorífico, el cual se encuentra dentro del rango establecido en la norma NTC 2060.

VIII. RECOMENDACIONES

- Utilizar briquetas de cascarilla de café como sustituto de la leña para uso doméstico y comercial, especialmente en regiones donde se cultiva y procesa el café. Por consiguiente, es imperativo que las organizaciones y entidades gubernamentales fomenten este tipo de tecnologías económicas, amigables con el medio ambiente y viables técnicamente.
- Realizar el secado previo de la cascarilla de café, mediante una estufa a una temperatura de 80°C o directamente al sol, en caso se dispongan de condiciones meteorológicas favorables, con el fin de facilitar su molienda para la obtención de partículas iguales o menores a 1 mm.
- Elaborar briquetas con proporciones entre 70 y 90% de cascarilla de café, debido a que presentan mejores propiedades en los parámetros de densidad y poder calorífico. Este rango de proporciones permitiría a los pobladores, caficultores o emprendedores un mayor reaprovechamiento del residuo cascarilla de café, obteniendo briquetas de calidad adecuada para su uso doméstico o comercialización.
- En la etapa experimental se demostró la necesidad de disminuir el contenido de humedad para mejorar la calidad de las briquetas, y aunque esto se puede lograr mediante un proceso de secado en hornos o estufas, se recomienda a las poblaciones que deseen elaborar briquetas a base de cascarilla de café, realizar el secado de manera artesanal, siempre y cuando se dispongan de condiciones meteorológicas con baja humedad ambiental y temperaturas favorables.
- El poder calorífico alcanzado en la presente investigación es similar a la leña (18 MJ/kg), por esta razón se recomienda su uso doméstico por pobladores de zonas rurales y escasos recursos como los de la localidad del Valle del Monzón. Además, la calidad de estas briquetas podría configurar una oportunidad de comercialización para futuros emprendedores o caficultores de la región.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO ÁLVAREZ, Branda Lindsay, 2017. *Estandarización del proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de cuesco de palma a escala industrial* [en línea]. Trabajo fin de grado. Bogotá: Fundación Universidad de América [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6583>.
- AKOLGO, Gilbert Ayine, et al., 2021. Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests. *Scientific African* [en línea]. Ghana: Elsevier, vol. 12, págs. e00789 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00789>.
- ALARCÓN SOLÓRZANO, Shirley Mireya, 2017. *Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado* [en línea]. Trabajo fin de grado. UCE: Universidad Central del Ecuador [consulta: julio de 2022]. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13003>.
- ARIAS ORTIZ, Rosa Angélica y MENESES CRUZ, Juan Daniel, 2016. *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016* [en línea]. Trabajo fin de grado. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>.
- ARIAS-GÓMEZ, Jesús, VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel y MIRANDA-NOVALES, María Guadalupe, 2016. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México* [en línea]. México. vol. 63, núm. 2, págs. 201-206 [consulta: noviembre de 2022]. 0002-5151. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>.
- BALSECA-SAMPEDRO, Otto F., et al., 2018. Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (borra) como biocombustible sólido. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria* [en

línea]. Ecuador: Polo del Conocimiento [consulta: julio de 2022]. Disponible en: [10.23857/pc.v3i7.565](https://doi.org/10.23857/pc.v3i7.565).

BASTIDAS BARRANCO, Marlon, MELO FREILE, Gelvis y TORRES, Daniela, 2019. Análisis Exergoambiental en Fuentes no Convencionales de Energía (Fnce): Caso Cascarilla De Café [en línea]. Colombia: RenovaT, vol. 2, 1, págs. 8-23 [consulta: julio de 2022]. ISSN. 2619-2896 Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3487>.

BASTIDAS-BARRANCO, Marlon, VALERA-RESTREPO, Robert y SERRANO-FLOREZ, Darío, 2022. Producción de briquetas a partir de raquis residual de la palma africana para las comunidades alfareras del norte del Cesar (Colombia). *Información tecnológica* [en línea]. Colombia: Scielo, vol.33, n.1, pp.193-202 [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100193>.

BERASTEGUI BARRANCO, Cristian, et al., 2017. Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* [en línea]. Chile: vol. 25 nro. 4 [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/772/77254022008.pdf>.

BOT, Bill, et al., 2021. Preparation and characterization of biomass briquettes made from banana peels, sugarcane bagasse, coconut shells and rattan waste. *Biomass Conversion and Biorefinery* [en línea]. Springer [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01762-w>.

CAMACHO DE BÁEZ, Briceida, 2008. *Metodología de la Investigación Científica: Un camino fácil de recorrer para todos* [en línea]. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [consulta: noviembre de 2022]. 9586600823. Disponible en: <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/book/124>.

- CHIUMENTI, Alessandro, et al., 2019. Exploitation of Mowed Grass from Green Areas by Means of Anaerobic Digestion: Effects of Grass Conservation Methods (Drying and Ensiling) on Biogas and Biomethane Yield. *Energies* [en línea]. Italia: vol. 12, págs. 17:3244 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en12173244>.
- CONCYTEC, 2021. Ecocarbón: Una opción ecológica contra la deforestación. Semana de la Innovación del 20 al 23 de junio del 2022 [en línea]. [consulta: agosto de 2022]. Disponible en <https://innovacion.concytec.gob.pe/2022/caso-exito-ecocarbon/>.
- CORDERO, T, et al., 2001. Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel* [en línea]. España: Elsevier, vol. 80, págs. 1567-1571 [consulta: setiembre de 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(01\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(01)00034-5).
- CUNURANA CRUZ, Maddy Bertha, 2018. *Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía alternativa* [en línea]. Trabajo fin de grado. Perú: Universidad Privada de Tacna [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12969/608>.
- DÍAZ MÁRQUEZ, Paul Takeshi, 2018. *Mezclas de biomásas y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas, Lima 2018* [en línea]. Trabajo fin de grado. Perú: César Vallejo [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/17521>.
- DINESHA, P., KUMAR, Shiva y ROSEN, Marc A., 2019. Biomass Briquettes as an Alternative Fuel: A Comprehensive Review. *Energy Technology* [en línea]. Wiley, vol. 7, nro. 5, pág. 1801011 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ente.201801011>.
- EROL, M., HAYKIRI-ACMA, H y KÜÇÜKBAYRAK, S., 2010. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable*

Energy [en línea]. Turquía: Elsevier, vol. 35, págs. 170-173 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.008>.

ESPÍRITU RIOS, Karen Melissa, 2021. “*Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (Elaeis Guineensis JAQC) para su uso como combustible sólido*” [en línea]. Trabajo fin de grado. Perú: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/258>.

ESTEBAN NIETO, Nicomedes Teodoro, 2020. Tipos de Investigación. *CORE* [en línea]. EE. UU.: Repositorio Institucional - USDG [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>.

FERRONATO, Navarro, et al., 2022. Are waste-based briquettes alternative fuels in developing countries? A critical review. *Energy for Sustainable Development* [en línea]. Bolivia: Elsevier, vol. 68, págs. 220-241 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.03.013>.

GENDEK, Arkadiusz, et al., 2018. Evaluation of selected physical and mechanical properties of briquettes produces from cones of three coniferous tree species. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. República Checa: Elsevier, vol. 117, págs. 173-179 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.07.025>.

GHADIRYANFAR, Mohsen, et al., 2016. A review of macroalgae production, with potential applications in biofuels and bioenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Irán: Elsevier, vol. 54, págs. 473-481 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.022>.

GÓMEZ, Oscar, et al., 2010. Guía para la innovación de la caficultura: de lo convencional a lo orgánico. [en línea]. El Salvador: Fundesyram [consulta: julio de 2022]. Disponible en: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/GUIA_CAFE_OK.pdf.

- GONZÁLEZ MERINO, Arcelia y CASTAÑEDA ZAVALA, Yolanda, 2008. Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. *Argumentos (México, D.F.)* [en línea]. México: Scielo, vol. 21, n°. 57, [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57952008000200004.
- GUILD, J., y SHACKLETON, C. M., 2018. Informal urban fuelwood markets in South Africa in the context of socio-economic change. *Energy policy* [en línea]. South África: Elsevier, vol. 117, págs. 136-141 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.023>.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar, 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición*. México: Mc Graw Hill Education. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- HERNÁNDEZ SOLÓRZANO, Laura Carolina; FORERO NÚÑEZ, Carlos Andrés; SIERRA VARGAS, Fabio Emiro, 2017. Biomass Densification: A Review of the Current State-of-the-Art of the Pellet Market and Analysis of New Research Trends. *Tecciencia* [en línea]. Bogotá: Scielo, vol. 12, nro. 23, págs. 81-92 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18180/tecciencia.2017.23.10>.
- HOSEINI, Marziyeh, 2021. Coffee by-products derived resources. A review. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Italia: Elsevier, vol. 148, págs. 106009 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>.
- HURTADO RENGIFO, Pablo, 2016. Aprovechamiento de residuos de biomasa secundaria como combustible. *Ingenium* [en línea]. Perú: Universidad Continental, vol. 1, nro. 1. [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18259/ing.2016004>.
- IBITOYE, Segun E., et al., 2021. Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. *Bioresources and Bioprocessing* [en

línea]. Springer, vol. 8, nro. 1, págs. 1-19 [consulta: agosto de 2022].
Disponibile en: <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00427-w>.

JELONEK, Zbigniew, et al., 2020. Environmental implications of the quality of charcoal briquettes and lump charcoal used for grilling. *Science of The Total Environment* [en línea]. Polonia: Elsevier, vol. 747, pág. 141267 [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141267>.

Jl, Chunying, et al., 2018. Environmental and economic assessment of crop residue competitive utilization for biochar, briquette fuel and combined heat and power generation. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. China: Elsevier, vol. 192, págs. 916-923 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.026>.

KALIYAN, Nalladurai, VANCE MOREY, R, 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. USA: Elsevier, vol. 33, págs. 337-359 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>.

KLUG, Michael, GAMBOA, Nadia y LORBER, Karl, 2013. Sustainable Development and Renewable Energy from Biomass in Peru - Overview of the Current Situation and Research With a Bench Scale Pyrolysis Reactor to Use Organic Waste for Energy Production. *Journal of Sustainable Development* [en línea]. Canadá: Canadian Center of Science and Education, vol. 6, nro. 8 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: [10.5539/jsd.v6n8p130](https://doi.org/10.5539/jsd.v6n8p130).

KPALO, Sunday Yusuf, et al., 2020. A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustainability* [en línea]. Malasia, vol. 12, nro. 11, págs. 4609 [consulta: agosto del 2022]. Disponible en: [doi:10.3390/su12114609](https://doi.org/10.3390/su12114609).

LAGO, Carmen, et al., 2019 Chapter One-Nexus Bioenergy–Bioeconomy. *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy* [en línea]. España: Academic Press,

págs. 3-24 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00001-7>.

LÓPEZ RIVERA, Juan David, et al., 2015. Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la maquina briquetadora construida en FAREM Estelí. *Revista Científica de FAREM-Estelí* [en línea]. Nicaragua: Central American Journals Online, no 16, p. 3-14 [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i16.2600>.

LUBWAMA, Michael y YIGA, Vianney, 2017; Development of groundnut shells and bagasse briquettes as sustainable fuel sources for domestic cooking applications in Uganda. *Renewable Energy* [en línea]. Uganda: Elsevier, vol. 111, págs. 532-542 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.041>.

MAGEZI, Fred, 2021. *Production of biomass briquettes from coffee husks* [en línea]. Trabajo fin de grado. Uganda: Universidad Makerere [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12281/10544>.

MAHAPATRA, Sangita, et al., 2021. Biofuels and their sources of production: A review on cleaner sustainable alternative against conventional fuel, in the framework of the food and energy nexus. *Energy Nexus* [en línea]. India: Elsevier, vol. 4, págs. 100036 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100036>.

MALAŤÁK, Jan, et al., 2020. Emissions from combustion of renewable solid biofuels from coniferous tree cones. *Fuel* [en línea]. Polonia: Elsevier, vol. 276, págs. 118001 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118001>.

MANALS-CUTIÑO, Enma M.; SALAS-TORT, Dolores; PENEDO-MEDINA, Margarita. 2018. Caracterización de la biomasa vegetal cascarilla de café. *Tecnología Química* [en línea]. Cuba: Scielo, vol. 38, nro. 1, págs. 169-181 [consulta: julio de 2022]. ISSN 2224-6185.

- MARCO, Darío Bazco, 2021. *Hidrólisis enzimática para producción de biocombustibles: revisión bibliográfica de procesos* [en línea]. Trabajo de fin de grado. Zeguan Repositorio Institucional de Documentos: Universidad de Zaragoza [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://zeguan.unizar.es/record/110079#>.
- MARREIRO, Hívila M. P., et al., 2021 Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies* [en línea]. Brasil: vol. 14, no 24, págs. 832 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en14248320>.
- MORALES QUISQUICHE, Deily Mirelia, 2018. *Eficiencia del residuo vegetal del Quenual en combinación con el carbón mineral y arcilla "(Shampo)" como biocombustible sólido en el distrito de Huallanca-Áncash, 2018* [en línea]. Trabajo fin de grado. Repositorio Digital Institucional: Universidad César Vallejo [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63547>.
- NO, Soo-Young, 2019. Production of Liquid Biofuels from Biomass. *Application of Liquid Biofuels to Internal Combustion Engines* [en línea]. Singapore: Springer, [consulta: julio de 2022]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6737-3_1.
- OBI, Okey Francis, PECENKA, Ralf y CLIFFORD Michael J., 2022. A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. *Biofuels Production from Lignocellulosic Waste* [en línea]. Alemania: Energies, vol. 15, [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en15072426>.
- OKOT, David, BILSBORROW, Paul y PHAN, Anh, 2018. Effects of operating parameters on maize COB briquette quality. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Reino Unido: Elsevier, 112, págs. 61-72, [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.015>.
- OLIVEIRA, Leandro S. y FRANCA, Adriana S, 2015. An overview of the potential uses for coffee husks. *Coffee in health and disease prevention* [en línea].

- Brasil: Academic Press, 2015, págs. 283-291 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0>.
- PALO TEJADA, Juan, et al., 2021. Use of Manure from Alpaca and Ichu for the production of briquettes as a source of heat energy in Arequipa. *Tecnia* [en línea]. Perú: Scielo, vol. 31, nro. 1, págs. 51-55 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v21i1.1314>.
- PANWAR, Varun, PRASAD, B. y WASEWAR, Kailas, 2011. Biomass Residue Briquetting and Characterization. *Revista de Ingeniería Energética* [en línea]. India: ASCE, vol. 137, nro 2, págs. 108-114 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000040](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000040).
- PRATIWI, Vibianti Dwi, 2020 Effect of Burning Temperature on The Quality of Alternatife Bio-energy from Coffee Waste. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* [en línea]. Indonesia: Itenas Libray, vol. 8, nro. 3, págs. 615-626 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v8i3.615>.
- RAMÍREZ PINZÓN, Francy Camila y RIAÑO GALÁN, Yenny Fernanda, 2022. *Propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto* [en línea]. Trabajo fin de grado. Bogotá: Fundación Universidad de América [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8847>.
- REPSOL, 2022. A la vanguardia en el desarrollo de biocombustibles. En: REPSOL [en línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/energia-innovacion/technology-lab/reduccion-emisiones/biocombustibles/index.cshtml> [consulta: agosto de 2022].
- RODRIGUES, G. S., et al., 2017. Producción de briquetas para quemar utilizando los finos de la producción de carbón vegetal y glicerina. *Holos* [en línea]. Brasil: Redalyc, vol. 1, págs. 325-335 [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554844028.pdf>.

- SETTER, C., y OLIVEIRA, T. J. P., 2022. Evaluation of the physical-mechanical and energy properties of coffee husk briquettes with kraft lignin during slow pyrolysis. *Renewable Energy* [en línea]. Brasil: Elsevier, vol. 189, págs. 1007-1019 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.077>.
- SETTER, Carine, et al., 2020. Influence of particle size on the physico-mechanical and energy properties of briquettes produced with coffee husks. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Brasil: Springer, vol. 28, nro. 7, págs. 8215-8223 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11124-0>.
- SILVA, D. A. L., et al., 2022. A systematic review and life cycle assessment of biomass pellets and briquettes production in Latin America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Brasil: Elsevier, vol. 157, págs. 112042 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112042>.
- STOLARSKI, Mariusz Jerzy, et al., 2016. Energy consumption and costs of heating a detached house with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Conversion and Management* [en línea]. Polonia: Elsevier, vol. 121, págs. 71-83 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.031>.
- TESFAYE, Assefa, WORKIE, Fentahun y KUMAR, Venkatesh S., 2022. Production and Characterization of Coffee Husk Fuel Briquettes as an Alternative Energy Source. *Advances in Materials Science and Engineering* [en línea]. África: Antonio Caggiano, vol. 2022, 13 págs. [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/9139766>.
- TIRADO JIRÓN, Pablo Andrés, 2015. "Estudio de compactación de la cáscara de nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa" [en línea]. Trabajo fin de grado. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato [consulta:

agosto de 2022]. Disponible en:
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10366>.

TODARO, Luigi, et al., 2015; Thermal treatment modifies the calorific value and ash content in some wood species. *Fuel* [en línea]. Italia: Elsevier, vol. 140, págs. 1-3 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.060>.

TURSI, Antonio, 2019. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal* [en línea]. Italia: Italia, vol. 6, págs. 962-979 [consulta: agosto de 2022]. Disponible en: [10.18331/BRJ2019.6.2.3](https://doi.org/10.18331/BRJ2019.6.2.3).

VEIGA LIMA ABREU, Tais, et al., 2017. Different plant biomass characterizations for biochar production. *Cerne* [en línea]. Brasil: Scielo [consulta: octubre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/01047760201723042373>.

VICENTE VARGAS, Jan Braulio, 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* Trabajo fin de grado. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8355>.

ZHANG, Guojie; SUN, Yinghui; XU, Ying, 2018. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. China: Elsevier, vol. 82, págs. 477-487 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.072>.

ZHOU, Yuguang, et al., 2016. A comprehensive review on densified solid biofuel industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. China: Elsevier, vol. 54, págs. 1412-1428 [consulta: julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.096>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN						
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			Densidad aparente	
¿De qué manera se evalúa la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón?	Evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón.	La calidad de las briquetas como biocombustible sólido elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón se evalúa en base al cumplimiento de los estándares de la norma NTC 2060.	(VI): Residuo cascarilla de café	Características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café	<hr/> Humedad <hr/> Materia Volátil <hr/> Carbono fijo <hr/> Ceniza <hr/> Poder calorífico	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			Proporción de cascarilla de café en la mezcla con aglutinante	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativa Diseño de investigación: Experimental (Diseño factorial)
P1: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido?	O1: Determinar las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido.	H1: Las características fisicoquímicas y energéticas de la cascarilla de café son humedad, comprendida entre 8 a 12%, carbono fijo de 15 a 25%, poder calorífico de 15 a 20 MJ/kg, cenizas de 0.6 a 10.5% y materia volátil mayor al 70%.		Contenido de cascarilla de café en la mezcla	<hr/> Presión de compactación <hr/> Densidad aparente	
P2: ¿Cuál es la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido?	O2: Determinar la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejore la calidad de las briquetas como biocombustible sólido.	H2: La proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido es mayor a 1.		Propiedades fisicoquímicas de las briquetas	<hr/> Humedad <hr/> Materia Volátil <hr/> Carbono fijo <hr/> Ceniza	
P3: ¿Cuál es la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas?	O3: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas.	H3: Las propiedades fisicoquímicas que determinan la calidad de las briquetas como biocombustible sólido cumplen con las especificaciones de la norma NTC 2060.	(VD): Calidad de Briquetas como Biocombustible Sólido		<hr/> Poder calorífico	
P4: ¿Cuál es la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas?	O4: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas.	H4: La briqueta como biocombustible sólido presenta un poder calorífico, igual o mayor a 12.50 MJ/kg.		Propiedades energéticas de las briquetas		

Anexo 2: Ficha de recolección de datos

Título				EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN								
Línea de investigación				Ingeniería y Tecnología								
Escuela				Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales								
Autor				Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany								
Asesor				Ms.C. Aliaga Martínez, María Paulina								
OE1: Determinar las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido.				OE2: Determinar la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido.								
Indicadores	1. Características de la cascarilla de café			2. Proporción de cascarilla de café y aglutinante								
				Base: 150 gramos Forma: cilíndrica Dimensión: L=4.8cm – 7.6cm, Ø = 6.5cm Presión de compactación: 44.96 PSI								
				50/50	50/50	50/50	70/30	70/30	70/30	90/10	90/10	90/10
				OE3: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas.								
			3. Parámetros fisicoquímicos briqueta									
			50/50	50/50	50/50	70/30	70/30	70/30	90/10	90/10	90/10	
Humedad												
Densidad aparente												
Materia Volátil (%)												
Carbono fijo (%)												
Ceniza (%)												
Poder calorífico superior (MJ/kg)												
OE4: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas.												
4. Parámetros Energéticos												
Poder calorífico superior (MJ/kg)												

Anexo 3: Instrumentos validados

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres: López Carrillo Claudia Renne
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Gerente General del Laboratorio L&L Lab Solution S.A.C.
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniería Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Instrumento para medir la calidad de las briquetas
- 1.5. Autor del instrumento: Bachilleres Pérez Sánchez, Melissa Andrea y Torpoco Cano, Evelyn Steffany

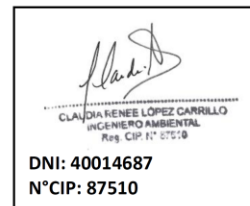
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible													X
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales.													X
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicado para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

SI



DNI: 40014687
N°CIP: 87510

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

98

Lima, 29 de julio del 2022

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres: Patiño Tipacti Julio Cesar
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Jefe de Asuntos Ambientales – Cia Minera Chungar SAC
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Ambiental y de Recursos Naturales
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Instrumento para medir la calidad de las briquetas
- 1.5. Autor del instrumento: Bachilleres Pérez Sánchez, Melissa Andrea y Torpoco Cano, Evelyn Steffany

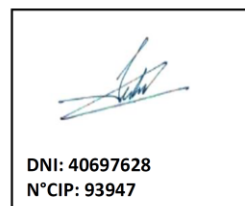
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales.												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicado para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

X



IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

95

Lima, 29 de julio del 2022

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres: Huamani León Víctor Alberto
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Gerente general / Consultora Total Quality S.A.C
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Sistemas de gestión aplicado a laboratorios de ensayos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Instrumento para medir la calidad de las briquetas
- 1.5. Autor del instrumento: Bachilleres Pérez Sánchez, Melissa Andrea y Torpoco Cano, Evelyn Steffany

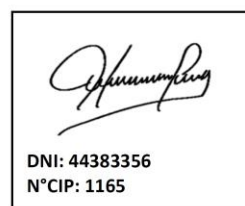
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales.												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicado para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación



X






IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN




95



Lima, 29 de julio del 2022

DATOS GENERALES				
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales			
Autor	Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany			
Asesor	Mg. Aliaga Martínez, María Paulina			
OG: Evaluar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido elaboradas a partir del residuo cascarilla de café en el Valle del Monzón.				
Fecha	29 de julio del 2022	Hora	15:30pm	
DATOS DE RECOLECCIÓN				
N°	Detalle	SI	NO	Comentario
1.	Propiedades fisicoquímicas	X		
2.	Propiedades energéticas	X		
 CLAUDIA RENEÉ LÓPEZ CARRILLO INGENIERO AMBIENTAL Reg. CIP. N° 87510 Nombres y Apellidos: Claudia Renee López Carrillo CIP: 87510 Grado: Colegiada Especialista 1		 Nombres y Apellidos: Julio Cesar Patiño Tipacti CIP: 93947 Grado: Colegiado Especialista 2		 Nombres y Apellidos: Víctor Alberto Huamani León CIP: 1165 Grado: Colegiado Especialista 3

DATOS GENERALES				
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales			
Autor	Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany			
Asesor	Mg. Aliaga Martínez, María Paulina			
OE1: Determinar las características fisicoquímicas y energéticas del residuo cascarilla de café para la elaboración de briquetas como biocombustible sólido.				
Fecha	29 de julio del 2022		Hora	15:30pm
DATOS DE RECOLECCIÓN				
N°	Detalle	SI	NO	Comentario
1.	Humedad	X		
2.	Ceniza	X		
3.	Materia volátil	X		
4.	Carbono fijo	X		
5.	Densidad aparente	X		
6.	Poder Calorífico	X		
 CLAUDIA RENEE LOPEZ CARRILLO INGENIERO AMBIENTAL Reg. CIP N° 87510 Nombres y Apellidos: Claudia Renee López Carrillo CIP: 87510 Grado: Colegiada Especialista 1		 Nombres y Apellidos: Julio Cesar Patiño Tipacti CIP: 93947 Grado: Colegiado Especialista 2		 Nombres y Apellidos: Víctor Alberto Huamani León CIP: 1165 Grado: Colegiado Especialista 3

DATOS GENERALES				
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales			
Autor	Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany			
Asesor	Mg. Aliaga Martínez, María Paulina			
OE2: Determinar la proporción de mezcla del residuo cascarilla de café y aglutinante que mejora la calidad de las briquetas como biocombustible sólido.				
Fecha	29 de julio del 2022		Hora	15:30pm
DATOS DE RECOLECCIÓN				
N°	Detalle	SI	NO	Comentario
1.	Proporción de cascarilla de café y aglutinante (50%/50%)	X		
2.	Proporción de cascarilla de café y aglutinante (70%/30%)	X		
3.	Proporción de cascarilla de café y aglutinante (90%/10%)	X		
	 CLAUDIA RENEE LOPEZ CARRILLO INGENIERO AMBIENTAL Reg. CIP. N° 27510 Nombres y Apellidos: Claudia Renee López Carrillo CIP: 87510 Grado: Colegiada Especialista 1	 Nombres y Apellidos: Julio Cesar Patiño Tipacti CIP: 93947 Grado: Colegiado Especialista 2	 Nombres y Apellidos: Víctor Alberto Huamani León CIP: 1165 Grado: Colegiado Especialista 3	

DATOS GENERALES				
Titulo	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales			
Autor	Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany			
Asesor	Mg. Aliaga Martínez, María Paulina			
OE3: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades fisicoquímicas.				
Fecha	29 de julio del 2022	Hora	15:30pm	
DATOS DE RECOLECCIÓN				
N°	Detalle	SI	NO	Comentario
1.	Humedad	X		
2.	Ceniza	X		
3.	Materia volátil	X		
4.	Carbono fijo	X		
5.	Densidad aparente	X		
 CLAUDIA RENEE LÓPEZ CARRILLO INGENIERO AMBIENTAL Reg. CIP. N° 87510				
Nombres y Apellidos: Claudia Renee López Carrillo CIP: 87510 Grado: Colegiada Especialista 1		Nombres y Apellidos: Julio Cesar Patiño Tipacti CIP: 93947 Grado: Colegiado Especialista 2		Nombres y Apellidos: Víctor Alberto Huamani León CIP: 1165 Grado: Colegiado Especialista 3

DATOS GENERALES				
Titulo	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA DE CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales			
Autor	Bach. Pérez Sánchez, Melissa Andrea Bach. Torpoco Cano, Evelyn Steffany			
Asesor	Mg. Aliaga Martínez, María Paulina			
OE4: Determinar la calidad de las briquetas como biocombustible sólido en función de sus propiedades energéticas.				
Fecha	29 de julio del 2022		Hora	15:30pm
DATOS DE RECOLECCIÓN				
N°	Detalle	SI	NO	Comentario
1.	Poder Calorífico	X		
	 CLAUDIA RENEE LÓPEZ CARRILLO INGENIERO AMBIENTAL Reg. CIP. N° 87510 Nombres y Apellidos: Claudia Renee López Carrillo CIP: 87510 Grado: Colegiada Especialista 1	 Nombres y Apellidos: Julio Cesar Patiño Tipacti CIP: 93947 Grado: Colegiado Especialista 2	 Nombres y Apellidos: Victor Alberto Huamani León CIP: 1165 Grado: Colegiado Especialista 3	

Anexo 4: Consentimiento informado

Lima, 15 de Julio del 2022

AROMAS DE MONZÓN S.A.C.
Gerente General
Milagros Baylon Mallqui
Otr. Manzana Mza. 1 C.P. Monzón - Monzón - Huánuco

Asunto: Autorización del acceso a la empresa Aromas de Monzón S.A.C. para el uso del residuo cascarilla de café.

Por medio de la presente,

Yo, Milagros Baylon Mallqui identificado con DNI N° 71561429, Gerente General de la empresa Aromas de Monzón S.A.C. con RUC N° 20607027855, autorizo a las Bachilleres Evelyn Torpoco Cano y Melissa Andrea Pérez Sánchez el uso del residuo cascarilla de café como materia prima para la elaboración de la parte experimental en su Informe de Tesis titulado *"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO, ELABORADAS A PARTIR DEL RESIDUO CASCARILLA CAFÉ EN EL VALLE DEL MONZÓN"*.

Se expide la presente carta de autorización a solicitud del interesado y para los fines que estime conveniente.

Sin otro particular, me despido de Usted.

Atentamente



Milagros Baylon Mallqui
Gerente General
AROMAS DE MONZÓN S.A.C.

Anexo 5: Base de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO – TGA (PROXIMAL) LER – BIOMASA 038 - 2022

Solicitante : Tesisistas: Melissa Pérez y Evelyn Torpoco
Tipo de muestra : Cascarilla de café
Procedencia : Lima
Fecha Recepción : 19 / 08 / 2022 y 14 / 09 / 2022
Fecha Reporte : 16 / 09 / 2022
Norma : ASTM D7582

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	MATERIA VOLÁTIL (%)
UBE-(08/2022)-0119	Cc1 - Cascarilla de café	77.31
UBE-(08/2022)-0120	Cc2 - Cascarilla de café	76.73
UBE-(09/2022)-0141	R3 - Cascarilla de café	75.22

NOTA:

- El análisis se realizó con la muestra en base húmeda (como se recibió).



Laboratorio de
Energías Renovables

José Calle Maravi, Ph. D.
Jefe del Laboratorio de
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO – TGA (PROXIMAL)
LER – BIOMASA 039 - 2022

Solicitante : Tesistas: Melissa Pérez y Evelyn Torpoco
Tipo de muestra : Briquetas (cascarilla de café y aglutinante)
Procedencia : Lima
Fecha Recepción : 14 / 09 / 2022
Fecha Reporte : 16 / 09 / 2022
Norma : ASTM D7582

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE HÚMEDA			
		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CENIZAS (%)	CARBONO FIJO (%)
UBE-(09/2022)-0142	M1 - Cc/Agl. 50/50	12.77	82.45	0.20	4.59
UBE-(09/2022)-0143	M2 - Cc/Agl. 50/50	15.50	78.73	0.21	5.57
UBE-(09/2022)-0144	M3 - Cc/Agl. 50/50	12.18	82.99	0.18	4.66
UBE-(09/2022)-0145	M4 - Cc/Agl. 70/30	12.51	78.12	0.35	9.02
UBE-(09/2022)-0146	M5 - Cc/Agl. 70/30	12.09	79.36	0.43	8.14
UBE-(09/2022)-0147	M6 - Cc/Agl. 70/30	11.92	77.96	0.46	9.66
UBE-(09/2022)-0148	M7 - Cc/Agl. 90/10	12.20	76.15	0.50	11.16
UBE-(09/2022)-0149	M8 - Cc/Agl. 90/10	10.80	78.44	0.50	10.26
UBE-(09/2022)-0150	M9 - Cc/Agl. 90/10	10.02	79.33	0.50	10.15

NOTA:

- El análisis se realizó con la muestra en base húmeda (como se recibió).



José Calle Maraví, Ph. D.
Jefe del Laboratorio de
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS DE CONTENIDO ENERGÉTICO
(CALORÍMETRO)
LER – BIOMASA 041 – 2022

Solicitante : Tesistas: Melissa Pérez y Evelyn Torpoco
Tipo de muestra : Briquetas (cascarilla de café y aglutinante)
Procedencia : Lima
Fecha Recepción : 14 / 09 / 2022
Fecha Reporte : 21 / 09 / 2022
Norma : ASTM D5865

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE SECA
		PCS (kcal/kg)
UBE-(09/2022)-0142	M1 - Cc/Agl. 50/50	4494.92
UBE-(09/2022)-0143	M2 - Cc/Agl. 50/50	4610.67
UBE-(09/2022)-0144	M3 - Cc/Agl. 50/50	4537.50
UBE-(09/2022)-0145	M4 - Cc/Agl. 70/30	4588.14
UBE-(09/2022)-0146	M5 - Cc/Agl. 70/30	4691.00
UBE-(09/2022)-0147	M6 - Cc/Agl. 70/30	4661.00
UBE-(09/2022)-0148	M7 - Cc/Agl. 90/10	4728.29
UBE-(09/2022)-0149	M8 - Cc/Agl. 90/10	4764.00
UBE-(09/2022)-0150	M9 - Cc/Agl. 90/10	4706.91

NOTA:

- El análisis del PCS se realizó con la muestra en base seca (la muestra fue secada en estufa a 105°C durante 24 horas).



José Calle Maraví, Ph. D.
Jefe del Laboratorio de
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Vicerrectorado de Investigación
Instituto de Investigación de Especialización
en Agroindustria



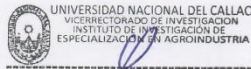
El director del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao da:

CONSTANCIA

Que la Srta.: *Melissa Andrea Perex Sanchez y Evelyn Steffany Torpoco Cano* tesistas de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, han realizado sus trabajos de investigación "Medición de humedad y de cenizas de cascarilla de café", como parte de su Proeyecto de tesis Titulado: "Elaboración de biobriquetas de carbón a partir de cascarilla de café generadas en el valle de monzón 2022". Quienes desarrollaron su trabajo de investigación en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria-VRI.

Se expide el presente documento para fines académicos en la Universidad Nacional del Callao.

Bellavista, 12 de diciembre del 2022



Mg. Ing. Rodolfo C. Bailón Neira
DIRECTOR
Mg. Rodolfo Cesar Bailón Neira

Director
Instituto de Investigación de Especialización
en Agroindustria-VRI

C.P N° 002-22-IIEA-VRI

Av. Juan Pablo II N° 306 - Bellavista
Callao D2 - PERÚ. Tel.: (511) 4652325

Laboratorio de Química
Av. Juan Pablo II N°309 Bellavista – Callao – Perú – Telf.: 4652325–4299740
Anexo: 312

INFORME DE ENSAYO
Nº. IE 003/2022

SOLICITANTE : MELISSA ANDREA PÉREZ SÁNCHEZ
EVELYN STEFFANY TORPOCO CANO

NOMBRE DE LABORATORIO : LABORATORIO DE QUÍMICA DEL IIEA

DOMICILIO LEGAL : AV. JUAN PABLO II Nº 309 BELLAVISTA -
CALLAO

PRODUCTO : CASCARILLA DE CAFÉ

CANTIDAD RECIBIDA : 25 KG.

PRESENTACIÓN : COSTAL NEGRO

FECHA DE MUESTREO :

LUGAR DE MUESTREO : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

LOTE :

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 10 DE AGOSTO DEL 2022

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 11 DE AGOSTO DEL 2022

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 24 DE OCTUBRE DEL 2022

REFERENCIA : MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE

RESULTADOS

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO



Laboratorio de Química
Av. Juan Pablo II N°309 Bellavista – Callao – Perú – Telf.: 4652325–4299740
Anexo: 312

INFORME DE ENSAYO N° IE 003/2022

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Matriz

Ensayo	Unidad	Valor M1	Valor M2	Valor M3
(*) Medición de Humedad	%	10.00	10.00	12.00
(**) Medición de Humedad	%	11.11	10.30	10.70
(***) Medición de Cenizas	%	2.00	1.50	1.50

M1: muestra 1

M2: muestra 2

M3: muestra 3



Laboratorio de Química
Av. Juan Pablo II N°309 Bellavista – Callao – Perú – Telf.: 4652325–4299740
Anexo: 312

INFORME DE ENSAYO N° IE 003/2022

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(*)Medición de humedad	ASTM D4442 - Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad de madera y materiales a base de madera.

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
(*)Medición de humedad	El método primario de secado en horno (Método A) está destinado a ser el único método primario. Está estructurado para fines en los que se necesita la mayor exactitud o grado de precisión (por ejemplo, investigación o calibración). <i>(%): Peso húmedo entre el peso seco de la muestra.</i>



Laboratorio de Química
Av. Juan Pablo II N°309 Bellavista – Callao – Perú – Telf.: 4652325–4299740
Anexo: 312

INFORME DE ENSAYO N° IE 003/2022

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(**)Medición de humedad	ASTM D4442 - Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad de madera y materiales a base de madera.

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
(**)Medición de humedad	<p>Este método de prueba se realizó mediante la termobalanza A&D, MX-50, utilizando parámetros de temperatura de la norma ASTM D4442(A).</p> <p>Normas estándar del equipo termobalanza:</p> <p>GMP: Buenas prácticas del fabricante</p> <p>GLP: Buenas prácticas de laboratorio</p> <p>ISO: Organización internacional para la estandarización</p> <p>(%): <i>Peso húmedo entre el peso seco de la muestra.</i></p>



Laboratorio de Química
Av. Juan Pablo II N°309 Bellavista – Callao – Perú – Telf.: 4652325–4299740
Anexo: 312

INFORME DE ENSAYO N° IE 003/2022

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(***)Medición de cenizas	ASTM D-1762S(2001) - Método de prueba estándar para análisis químico de carbón vegetal.

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
(***)Medición de cenizas	<p>Este método de prueba cubre la determinación de humedad, materia volátil y cenizas en carbón vegetal hecho de madera. El método de prueba es aplicable a terrones y briquetas y está diseñado para la evaluación de la calidad del carbón vegetal. El método de prueba emplea un aparato que se encuentra en la mayoría de los laboratorios y se adapta a los análisis de rutina de una gran cantidad de muestras.</p> <p>(%): Contenido total de minerales en la muestra.</p>



Anexo 6: Métodos y especificaciones técnicas de los equipos para análisis proximal y análisis de contenido energético

Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal)

Moisture, Volatile Matter, Ash, and Fixed Carbon Determination in Coal

LECO Corporation; Saint Joseph, Michigan USA

Instrument: TGA701

Sample Preparation

Samples should be prepared in accordance with ASTM Method D2013 or ASTM Practice D346. Coal reference materials such as those offered by LECO and NIST are properly prepared.

Accessories

621-331 Large Ceramic Crucibles, 529-048 Large Ceramic Covers

Calibration Samples

Calibration samples are used to calibrate volatile matter content of samples and are normally not required for moisture or ash determination. Select at least three coal reference materials with known dry basis volatile matter contents. The reference materials must cover the full range of expected volatile matter contents of the coal and samples that will routinely be analyzed. NIST, LECO, or other suitable reference materials may be used.

Sample Mass ~1 gram

Method Reference ASTM D7582

Analysis Time ~5 hours

Method General Parameters

Crucible Type	Ceramic
Crucible Density	3.00
Cover Density	3.00
Sample Type	Coal
Sample Density	1.50

System

Significant Digits	F6
Barometric Pressure	760
Cover Open Half	800
Cover Open Full	450
Furnace Over Temp.	1200
Increment Sample Names	Disable
Crucible Locations	Auto Find
Temperature Check	False
Alarm on Errors	True
Cover Option	Half Open
Carousel Option	Weigh Position
Batch Mode	False
Enable Lid Dispenser	False



Balance

Readability	4
Balance Environment	Stable
Balance Constancy	Absolute Weight (grams)
Minimum Weight	0.8000
Maximum Weight	1.2000
Zero Deviation	0.0005
Retake Initial Weights	False

Method Step Parameters

Parameter	Moisture	Volatile	Ash
Covers Off	No	Yes	No
Start Temp. °C	25	107	600
End Temp. °C	107	950	750
Ramp Rate	6	43	3
Ramp Time (h:m)	00:13	00:19	00:50
Hold Time (h:m)	00:15	00:07	00:00
Total Time (h:m)	00:28	00:26	00:50
Max Time (h:m)	00:00	00:00	00:00
Atmosphere	Nitrogen	Nitrogen	Oxygen
Flow Rate	High	High	Low
Window	3	0	3
Comparator	0.0005*	100.0000	0.0005*
Final Weight	At	At	At
	Constancy	End of Step	Constancy

*Balance constancy set for Absolute Weight (grams)

Method Equation Parameters

Equation Name	
Equation Text	
Moisture	$(([\text{Initial Mass}] - [\text{Moisture Mass}]) / [\text{Initial Mass}]) * 100$
Volatile	$((([\text{Moisture Mass}] - [\text{Volatile Mass}]) / [\text{Initial Mass}]) * 100$
Ash	$([\text{Ash Mass}] / [\text{Initial Mass}]) * 100$
Fixed Carbon	$100 - ([\text{Moisture}] + [\text{Volatile}] + [\text{Ash}])$
Volatile Dry	$[\text{Volatile}] * (100 / (100 - [\text{Moisture}]))$
Ash Dry	$[\text{Ash}] * (100 / (100 - [\text{Moisture}]))$
Fixed Carbon Dry	$100 - ([\text{Volatile Dry}] + [\text{Ash Dry}])$

LECO

Organic Application Note



Procedure

1. Create and/or select a method using the parameters described above following the procedure outlined in the TGA701 instruction manual.
2. Calibrate for volatile matter by using a minimum of three coal reference materials by following the procedure outlined in the TGA701 instruction manual.
3. After calibration for volatile matter is complete, analyze unknown samples following the procedure outlined in the TGA701 instruction manual.

Typical Results (Dry Basis)

Sample	Mass g	% Moisture	% Volatile	% Ash	% Fixed C
LECO 502-680	1.0051	0.92	17.08	10.93	71.99
Coal	1.1049	0.93	17.09	10.95	71.96
@ 17.1% Dry Vol,	1.0027	0.92	17.13	10.96	71.92
11.0% Dry Ash	1.0589	0.91	17.09	10.95	71.96
	1.0213	0.92	17.12	10.93	71.96
Avg	1.0386	0.9212	17.10	10.94	71.96
Std Dev	0.04	0.00590	0.018	0.013	0.026
RSD	4.175	0.641	0.104	0.122	0.036
LECO 502-681	1.0535	1.25	32.47	8.93	58.60
Coal	0.8800	1.25	32.62	8.98	58.40
@ 32.6% Dry Vol,	0.8630	1.27	32.43	9.01	58.56
9.09% Dry Ash	0.8531	1.26	32.81	8.99	58.20
Avg	0.9124	1.2550	32.59	8.97	58.44
Std Dev	0.09	0.00970	0.173	0.035	0.182
RSD	10.38	0.773	0.532	0.393	0.312
LECO 502-682	1.0691	8.93	41.20	5.79	53.01
Coal	0.9805	8.92	41.16	5.80	53.04
@ 41.3% Dry Vol,	0.9779	8.94	41.41	5.76	52.83
5.81% Dry Ash	1.0541	8.92	41.54	5.79	52.67
	1.0387	8.93	41.23	5.81	52.96
Avg	1.0241	8.9266	41.31	5.79	52.90
Std Dev	0.04	0.00930	0.159	0.018	0.150
RSD	4.135	0.104	0.386	0.311	0.284

LECO Corporation | 3000 Lakeview Avenue | St. Joseph, MI 49085 | Phone: 800-292-6141 | Fax: 269-982-8977
 info@leco.com • www.leco.com | ISO-9001:2008 HQ-Q-994 | LECO is a registered trademark of LECO Corporation.

TGA701 Thermogravimetric Analyzer

Specification Sheet



Sample Mass	1 gram (nominal)		
Number of Samples	19 (+1 reference)		
Precision	0.02% RSD (1.5, 1 g inert sample)		
Balance	Resolution 0.0001 g		
Oven Temperature	Ambient (minimum)		
Temperature Control	Minimum: 100°C	Maximum: 1000°C	
	Accuracy: 2% of setpoint, or $\pm 2^\circ\text{C}$; whichever is greater		
	Stability: 2% of setpoint, or $\pm 2^\circ\text{C}$; whichever is greater		
Maximum Ramp Rate			
Ambient to 104°C (219°F)	15°C/minute (59°F/minute)		
104°C to 1000°C (219°F to 832°F)	50°C/minute (122°F/minute)		
Gas Flow Rate	Low: 3.5 lpm	Medium Low: 5.0 lpm	Medium: 7.0 lpm
	Medium High: 8.5 lpm	High: 10.0 lpm	
Gas Pressure	Air: 45 psi (3.1 bar)	Nitrogen: 35 psi (2.4 bar)	Oxygen: 35 psi (2.4 bar)
*Air Ventilation Requirements	70 to 160 CFM adjustable (33 to 75 lps)		
*Duct Size	4 inch (10 cm)		
<i>*Note: The TGA701 must be vented to an external exhaust. For moisture-only applications in which the furnace temperature does not exceed 150°C, and the distance from the right side of the TGA701 to the external exhaust is less than 10 feet (3 meters), a passive connection to a 3-inch (75 cm) duct is acceptable.</i>			
Environmental Conditions	Operating Temp: 15°C to 35°C (59°F to 95°F) Humidity: 20% to 80% non-condensing		
Minimum Gas Purity	Air: Dry, oil-free	Nitrogen: 99.9%	Oxygen: 99.5%
Electrical Power Requirements	230V~ ($\pm 10\%$; at max load), 50/60 Hz, single phase, 25 A; 19,700 BTU/hr ¹		
Dimensions	20.5 in H x 24 in W x 22 in D (52 x 61 x 56 cm)		
Weight (approx.)	195 lb. (88 kg)	Shipping Weight (approx.): 246 lb. (112 kg)	
Optional External Blower			
Part Numbers:	621-225 (115 V)	621-263 (230 V)	
Flow:	140 cfm (65 l/s)		
Power:	115 V~ ($\pm 10\%$), single phase, 60 Hz, 1.6 A 230 V~ ($\pm 10\%$), single phase, 50/60 Hz, 0.6/0.8 A		
Part Numbers			
TGA701S4C	TGA701 with PC tower, Windows®-based operating software, and flat panel monitor		
TGA701D4C	TGA701 Dual Furnace Configuration with PC tower, Windows-based operating software, and flat panel monitor		

V~ denotes VAC.
¹Average output based on nominal operating parameters.

LECO[®]
 Delivering the Right Results

Theory of Operation

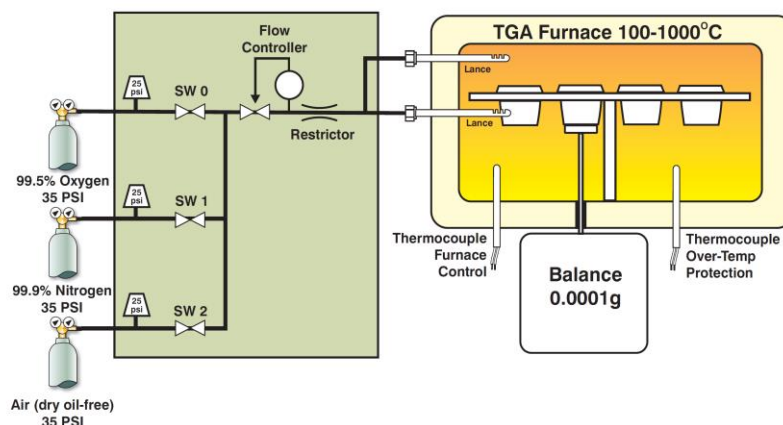
The TGA701 Thermogravimetric Analyzer is used to determine the composition of organic, inorganic, and synthetic materials. It measures weight loss as a function of temperature in a controlled environment. The instrument consists of a computer and a multiple sample furnace that allows up to 19 samples to be analyzed simultaneously.

After an analysis method has been selected, empty crucibles are loaded into the furnace carousel. The analysis method controls the carousel, furnace, and balance operation. On completion of crucible tare, each crucible is presented to the operator for sample loading. The starting sample weight is measured and stored automatically. Once all the crucibles have been loaded, analysis begins. The weight loss of each sample is monitored and the furnace temperature is controlled according to the selected analysis method. The percent weight loss for each sample is reported at the end of each analysis step.

The instrument contains an easy-to-follow menu-driven Windows-based software program that allows analysis methods to be tailored to satisfy most analytical applications. Temperature, temperature ramp rate, and atmosphere are selectable for each step. Analysis methods can be entered to perform moisture, volatile, ash, or combinations of these three stages. Other menus allow on-screen plotting of sample weight loss with hard copy selection after the screen review. Built-in diagnostic functions can be performed via menu selections.

The key to the automated analysis capability is the LECO multiple sample furnace. The 19-position sample carousel and balance pedestal are located in the furnace. The samples are automatically indexed to the position above the balance pan. The carousel is lowered to place a sample crucible onto the pedestal and the weight is recorded. The cycle continues throughout the entire program. All weighing is performed automatically.

Flow Diagram



*Specifications and part numbers may change.
Consult LECO for latest information.
Windows® is a registered trademark of Microsoft Corporation.*

3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085 • Phone: 800-292-6141 • Fax: 269-982-8977
info@leco.com • www.leco.com • ISO-9001:2008 HQ-Q-994 • LECO is a registered trademark of LECO Corporation.

LECO Corporation
LECO
Delivering the Right Results

Form No. 209-149-001

1/15-REV6

© 2014 LECO Corporation

Análisis de Contenido Energético (Calorímetro)

Gross Heat in Fuel Oils and Biomass

LECO Corporation; Saint Joseph, Michigan USA

Instrument: AC600



Sample Preparation

A representative, uniform sample is required.

Accessories

774-204 Crucible, Syringe & Needle, pressure sensitive tape (cellophane tape 38 mm or 1.5 inch wide that is sulfur and chlorine free), disposable eyedroppers, LECO 502-815 Mineral Oil for spiking Biomass sample, 776-978 Glass Scoop.

Calibration Samples

Benzoic acid pellets made from NIST 39j, or LECO 774-208 Benzoic Acid Pellets.

Method Parameters

Method	TruSpeed™
Standard Mode	ASTM D5865-07

Thermochemical Corrections

Titant Energy Value	0.0039683 BTU/ml
Sulfur Correction	23.723 BTU/lb
Calculation Mode	TruSpeed
Analysis Time	4.75 minutes
Equilibrate Time	1.5 minutes
Pre-Fire Time	0.5 minutes
Main Time	2.75 minutes
Stir Speed	13.0

System Parameters - Database

Fuse Type	Cotton
Fuse Length	10 cm
Fuse Combustion Heat	0.006255562 BTU/cm
Significant Digits	5
Result Units	BTU/lb
Sleep Timeout	90 minutes
Water Temperature	25°C
Auto Increment Sample Name	Disable
Alarm	Yes

Procedure

1. Prepare instrument for operation as outlined in the operator's instruction manual.
2. Choose the TruSpeed method for analysis.
3. Condition the system by analyzing one LECO 774-208 Benzoic Acid Pellet.
4. Calibration
 - a) Calibrate the instrument using a minimum of five analyses of 1 gram Benzoic Acid Pellets, following the procedure outlined in the operator's instruction manual.

5. Analyze Samples: Residual, Mineral, and Bio-Oil
 - a) Place 774-204 Crucible on balance and tare.
 - b) Weigh ~0.6 g sample into crucible using a disposable eyedropper.
 - c) Enter mass and sample identification into Sample Login (F3).
 - d) Place crucible in "crucible holder" and tie cotton thread fuse to the igniter wire, making sure the cotton thread fuse contacts the oil sample.
 - e) Assemble the combustion vessel and pressurize following the procedure outlined in the operator's instruction manual.
 - f) Transfer combustion vessel to instrument and analyze.
 - g) Perform the appropriate corrections for sulfur and nitrogen.
6. Analyze Samples: Diesel Fuel, Kerosene, Jet Fuel, and Gasoline

Note: This group of highly volatile fluids requires the use of cellophane tape to reduce sample loss during weighing and analysis. Refer to ASTM D240 for additional details.

- a) Place 774-204 Crucible on balance and tare.
- b) Determine the calorific value of the pressure sensitive (Scotch) tape by analyzing 1.2 g of tape in crucible.
- c) Repeat step 6b three to five times and use the average as the "spike value".
- d) Enter spike value (BTU/LB) in Method Parameters.
- e) Place 774-204 Crucible on balance and tare.
- f) Remove crucible from balance and place a piece of pressure sensitive (Scotch) tape across the top of crucible. Trim around edge with razor blade or scissors and seal tightly.
- g) Place a 3 x 12 mm strip of tape creased in the middle and sealed by one edge in the center of the tape disk to create a flap on top of the crucible.
- h) Place crucible on balance, record weight of tape and tare.
- i) Enter weight of tape as "spike weight".
- j) Using a syringe and needle, add ~0.6 g sample to the crucible by inserting the needle through the tape disk at a point so that the flap of tape will cover the puncture upon removal of needle. Seal down flap by pressing lightly.

Note: Take care throughout weighing and filling operation to avoid contacting the tape or crucible with bare fingers.

- k) Enter mass of sample and sample identification into Sample Login (F3).

The LECO logo consists of a stylized globe icon to the left of the word "LECO" in a bold, sans-serif font.

Organic Application Note



- l) Place crucible in the "crucible holder"; tie cotton thread fuse to igniter wire, and arrange cotton thread fuse to contact/lie on top of the center of the tape disk.
- m) Assemble the combustion vessel and pressurize following the procedure outlined in the operator's instruction manual.
- n) Transfer the combustion vessel to the instrument and analyze.
- o) Perform appropriate corrections for sulfur and nitrogen.

7. Analyze samples: Biomass

Note: Biomass samples require the addition of a combustion aid (spiking agent) such as mineral oil. LECO 502-815 mineral oil has an assigned calorific value and can be used for this purpose. Other mineral oils may be used; however, the calorific value of the oil must be determined (refer to step 5 for analysis of mineral oil).

- a) Place 774-204 Crucible on balance and tare.
- b) Weigh ~0.2 to 0.4 g biomass sample into crucible.
- c) Enter mass and sample identification in sample login (F3)
- d) Tare crucible and add ~0.2 to 0.4 g 502-815 mineral oil as a spike using a disposable eyedropper.
Note: Ratio of sample/spike is dependant on sample density (Total mass should be ~0.6 g).
- e) Enter mass of mineral oil added in 7d as "Spike Weight".
- f) Let stand for 3 to 5 minutes or until oil is completely absorbed in sample.
- g) Enter spike value (BTU/lb of mineral oil) in Method Parameters.
- h) Place crucible in the "crucible holder", and tie cotton thread fuse to the igniter wire making sure the cotton thread fuse contacts the sample.
- i) Assemble combustion vessel and pressurize following the procedure outlined in the operator's instruction manual.
- j) Transfer the combustion vessel to the instrument and analyze.
- k) Perform appropriate corrections for sulfur, nitrogen, and moisture.

Typical Results

Sample	Mass g	BTU/LB
Mineral Oil	0.6087	19800
	0.6052	19819
	0.6089	19809
	0.6098	19806
	0.6059	19812
	X =	19809
	s =	7

Bio Oil	0.6103	7445
	0.6056	7403
	0.6061	7369
	0.6047	7442
	0.6057	7419
	X =	7416
	s =	31

No. 2 Diesel Fuel	0.6201	19540
	0.6111	19531
	0.6078	19533
	0.6325	19514
	0.6282	19532
	X =	19530
	s =	10

No. 2 Diesel Fuel	0.6296	19409
	0.5763	19406
	0.6125	19406
	0.6168	19401
	0.6235	19423
	X =	19409
	s =	8

Wood Chip (Biomass) #1	0.2233	6697
	0.2292	6742
	0.2265	6753
	0.2267	6747
	X =	6734
	s =	26

Wood Chip (Biomass) #2	0.2221	8084
	0.2291	8110
	0.2283	8050
	0.2219	8107
	X =	8087
	s =	28

LECO Corporation

3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085 • Phone: 800-292-6141 • Fax: 269-982-8977
 info@leco.com • www.leco.com • ISO-9001:2008 • No. FM 24045 • LECO is a registered trademark of LECO Corporation.

AC600 Semi-Automated Calorimeter

Specification Sheet



Method	Isoperibol	
Range		
Joules/Charge:	14,000 ¹ to 35,000 ^{1†} (14,000 ¹ to 35,000 ^{1†} kJ/kg for a 1 gram sample)	
Calories/Charge:	3,300 ¹ to 8,300 ^{1†} (3,300 ¹ to 8,300 ^{1†} kcal/kg for a 1 gram sample)	
BTU/Charge:	13 ¹ to 33 ^{1†} (6,000 ¹ to 15,000 ^{1†} BTU/lb for a 1 gram sample)	
Precision	0.10% RSD*	
Analysis Time	TruSpeed® Mode: 5 minutes	Delta T Mode: 9 minutes
Corrections	Nitrogen, sulfur, fuse wire, moisture, spike, and ash	
User-Selectable Ignition	String or wire-fuse	
Temperature Measuring Resolution	0.0001°C	
Gas Requirements	Analytical: Oxygen 450 psi (31.0 bar) max; 99.5% purity Pneumatic: Compressed Air; 12 psi (0.8 bar); source must be oil and water free	
Electrical Requirements	90 to 127 V~/180 to 260 V~ (at max load), 50/60 Hz, single phase, 5 A, 2,000 BTU/hr	
Water Requirements		
Recirculating Water Chiller ² Nominal Temp:	15°C (59°F)	
Cooling Capacity (at 15°C):	Single AC600: 680 BTU/hr	Dual AC600: 1,400 BTU/hr
Type:	Distilled Water NOTE: Do NOT use deionized water	
pH:	6-8	
Dissolved Solids:	0.5 to 100 ppm	
Resistivity:	50 kΩ•cm to 2 MΩ•cm (0.5 μs/cm to 20 μs/cm)	
Pressure:	4 to 15 psi (0.3 to 1.0 bars)	
Volume:	Single AC600: 3 gallons (12 liters) for initial setup Dual AC600: 9 gallons (35 liters) for initial setup	
Required Work Space**	15 in. W x 21 in. D x 18 in. H (38 cm x 53 cm x 46 cm)	
Weight (approx.)	135 lb. (61 kg)	Shipping Weight (approx.): 148 lb. (67 kg)
Environmental Conditions	Operating Temp: 15° to 35°C (59° to 95°F) Humidity: 20 to 80%, non-condensing General: Area should be free of drafts, and shielded from sunlight and other radiation sources	

Part Numbers

AC600SC	AC600 Semi-Automatic Calorimeter with standard vessel; vessel preparation station; external PC
AC600SHC	AC600 Semi-Automatic Calorimeter with halogen-resistant vessel; vessel preparation station; external PC
AC600DC	AC600 Dual Semi-Automatic Calorimeter with two standard vessels; vessel preparation station; external PC
AC600DHC	AC600 Dual Semi-Automatic Calorimeter with two halogen-resistant vessels; vessel preparation station; external PC

¹Based on analysis of benzoic acid at 1 gram; n = 7.

**Allow a 6-inch (15 cm) minimum access area around instrument.

[†]Lower values can be measured by spiking samples that are not completely combusting.

[‡]This is the combustion vessel safety limit. Do NOT exceed this limit. Exceeding this limit could result in vessel failure causing death, serious personal injury, and/or property damage.

[§]Chiller must be capable of operating continuously with flow stopped to the AC600.

V~ denotes VAC.

LECO[®]
Delivering the Right Results

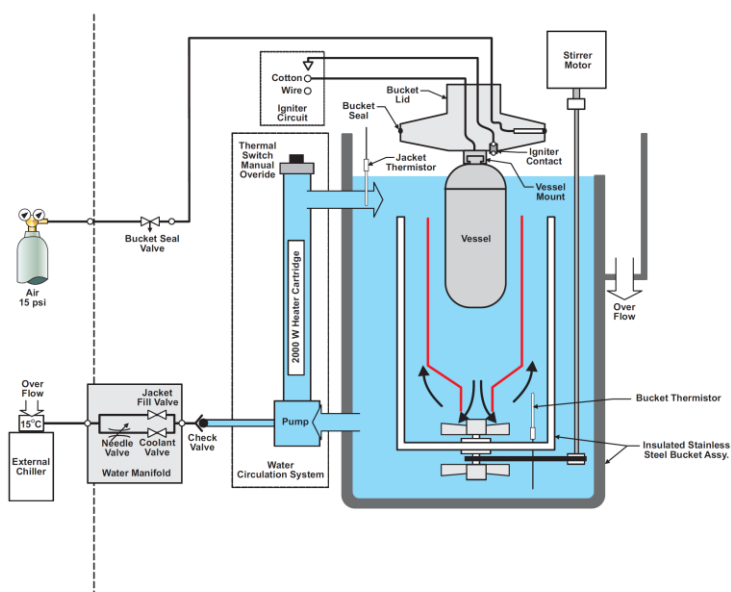
Theory of Operation

The LECO AC600 semi-automatic calorimeter is a Windows®-based instrument developed to measure the calorific content of various organic materials such as coal, coke, and fuel oil.

The calorific value of a sample is determined by precisely measuring the heat released after combustion of the sample in a controlled environment. The heat released is proportional to the calorific value of the substance.

The sample is placed into a combustion vessel, which is pressurized with oxygen. The combustion vessel is automatically lowered into a water bath within the instrument known as a bucket. The bucket is sealed using an inflatable bladder. The cavity surrounding the bucket is known as the jacket and is also filled with water. The water temperature in the jacket is closely controlled at a precise set temperature (isoperibol calorimeter system). The sample is ignited and the temperature of the bucket and jacket water is measured by an electrical thermometer with a resolution of 0.0001 of a degree. A measurement of the water temperature inside the bucket and jacket is collected every second. The results can be corrected within the software for any spiking, nitrogen, sulfur, moisture, and ash content if necessary. Two options for analyzing data are available. A simple temperature difference may be chosen by the user (Delta T mode), in which calorific values are determined by a simple maximum temperature rise of the bucket. The user may also choose to use a thermodynamic model (TruSpeed mode) that has been developed by LECO to model heat exchange within the AC600 system. The TruSpeed mode takes into account heat capacities of the system's components along with corrections for energy transfer within the system. The TruSpeed mode enables the AC600 to attain rapid 5 minute analysis times without compromising the accuracy or precision of the calorific result.

Flow Diagram



*Specifications and part numbers may change.
Consult LECO for latest information.*

*LECO, TruSpeed are registered trademarks of LECO Corporation.
Microsoft, Windows are registered trademarks of Microsoft Corporation.*

3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085 • Phone: 800-292-6141 • Fax: 269-982-8977
info@leco.com • www.leco.com • ISO-9001:2008 HQ-Q-994

LECO Corporation
Delivering the Right Results
© 2015 LECO Corporation

Form No. 209-192-001

7/15-REV8

Anexo 7: Registro fotográfico

Figura 24

Cascarilla de café generada en la empresa Aromas de Monzón S.A.C.



Nota. (a) y (b) Cantidad del residuo cascarilla de café generado por día.

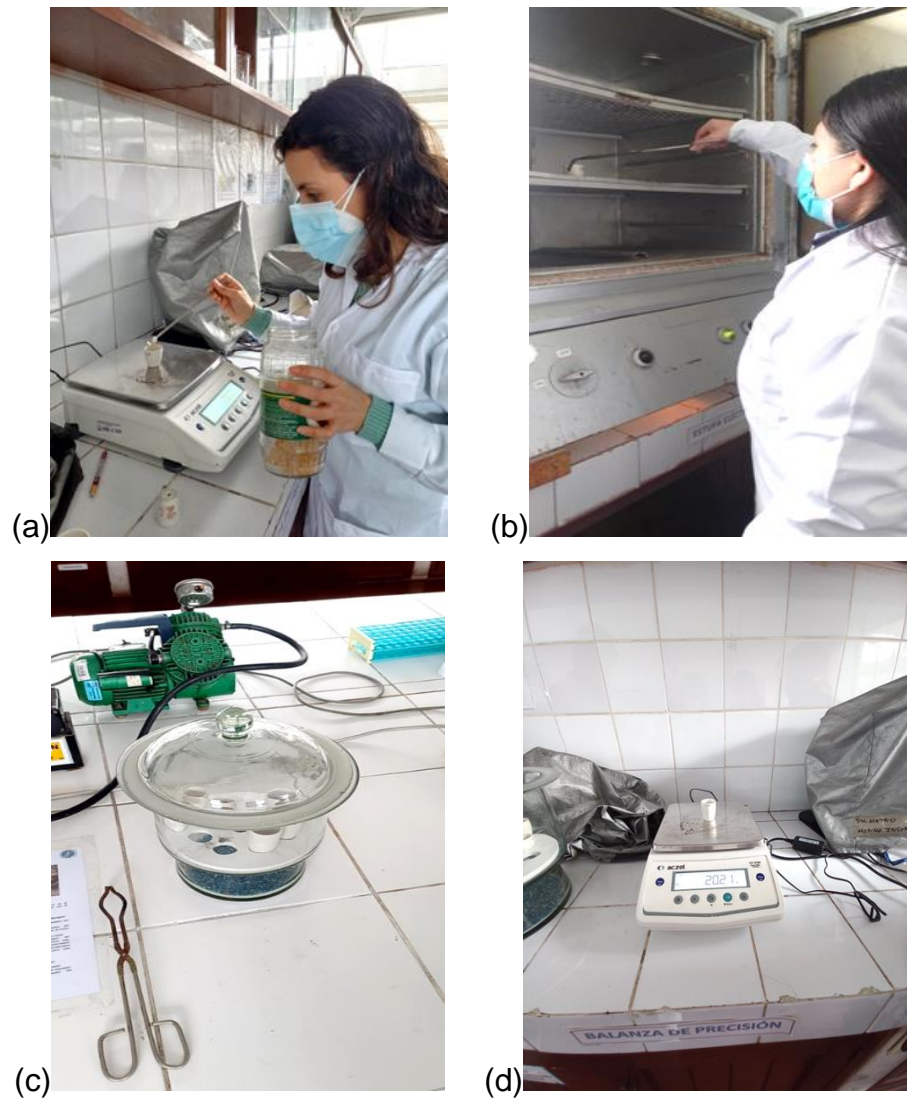
Figura 25

Cascarilla de café



Figura 26

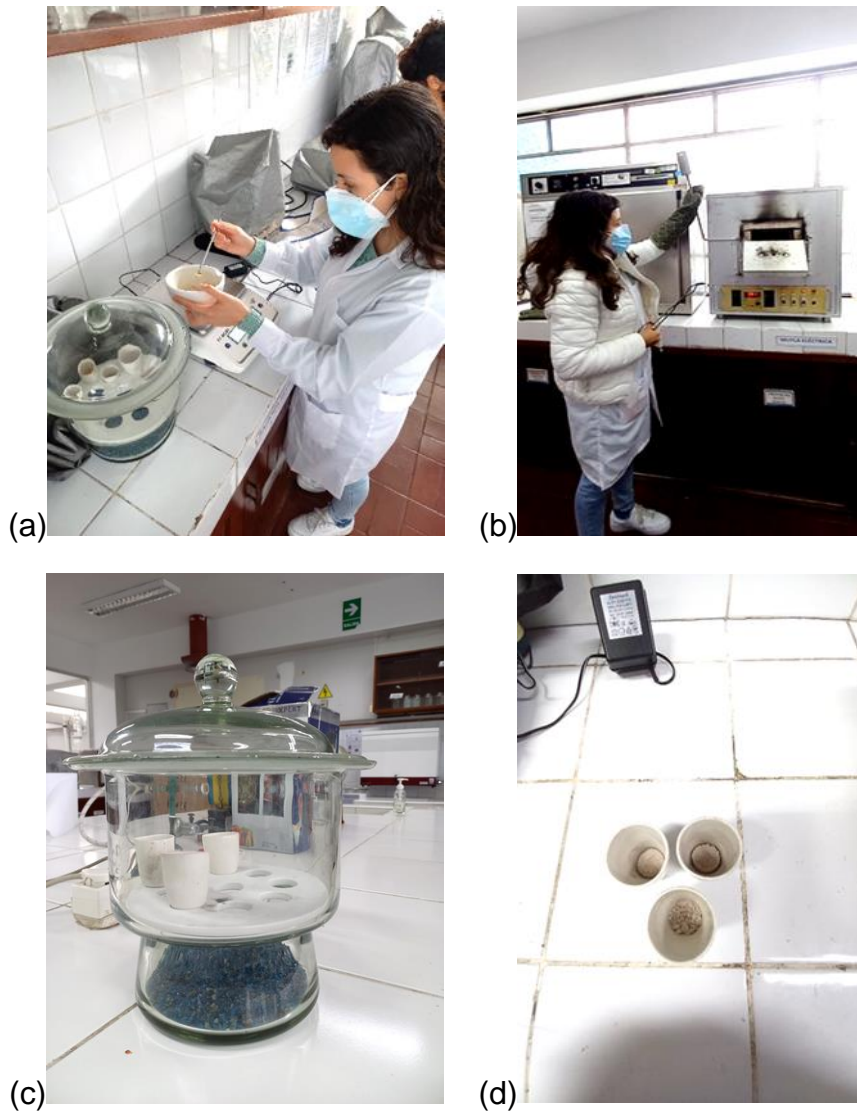
Determinación del contenido de humedad de la cascarilla de café



Nota. (a) Determinación del peso inicial de la muestra, (b) Muestra en la estufa, (c) Muestra en el desecador, (d) Determinación del peso final de la muestra.

Figura 27

Determinación del contenido de cenizas de la cascarilla de café



Nota. (a) Determinación del peso inicial de la muestra, (b) Muestra en la mufla, (c) Muestra en el desecador, (d) Determinación del peso de las cenizas.

Figura 28

Determinación de la densidad aparente de la cascarilla de café



Figura 29

Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 50/50



(a)

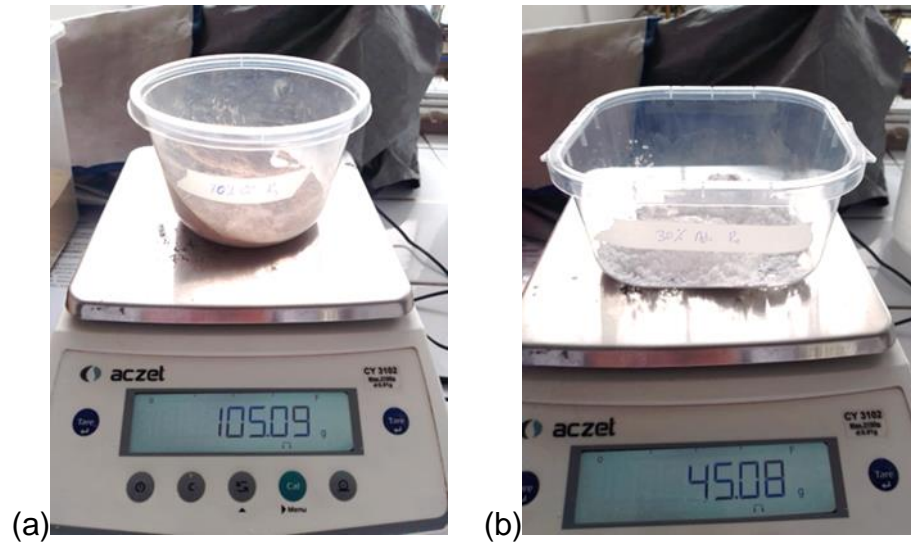


(b)

Nota. (a) Determinación del peso de la cascarilla de café, (b) Determinación del peso del aglutinante.

Figura 30

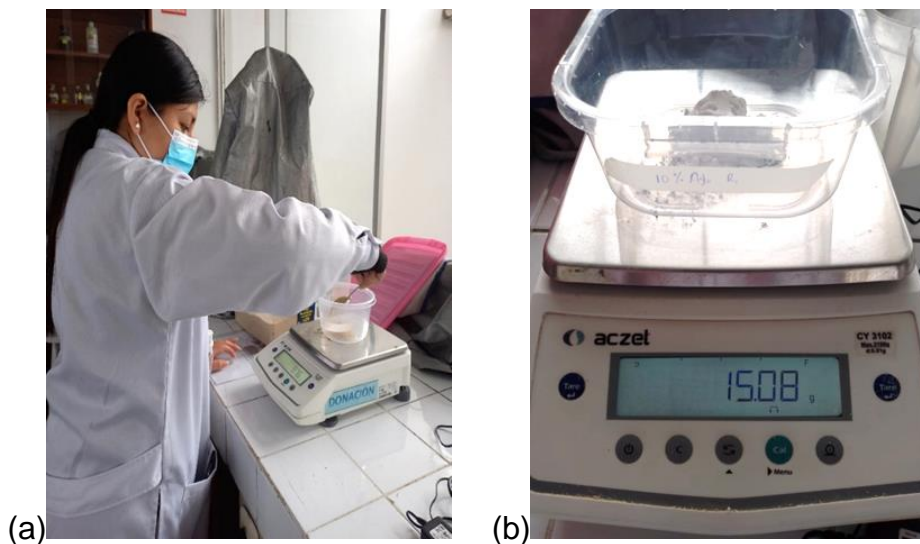
Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 70/30



Nota. (a) Determinación del peso de la cascarilla de café, (b) Determinación del peso del aglutinante.

Figura 31

Determinación del peso de la cascarilla de café y el aglutinante a una proporción de 90/10



Nota. (a) Determinación del peso de la cascarilla de café, (b) Determinación del peso del aglutinante.

Figura 32

Briquetas con proporción de 50/50 y 70/30



Nota. Derecha: briquetas húmedas a una proporción de 50/50. Izquierda: briquetas húmedas a una proporción de 70/30

Figura 33

Briquetas con proporción de 90/10



Nota. Briquetas húmedas a una proporción de 90/10.

Figura 34

Briquetas con proporción de 50/50 y 70/30 después del proceso de secado



Nota. Izquierda: briquetas de proporción de 50/50 secadas en la estufa. Derecha: briquetas de proporción de 70/30 secadas en la estufa.

Figura 35

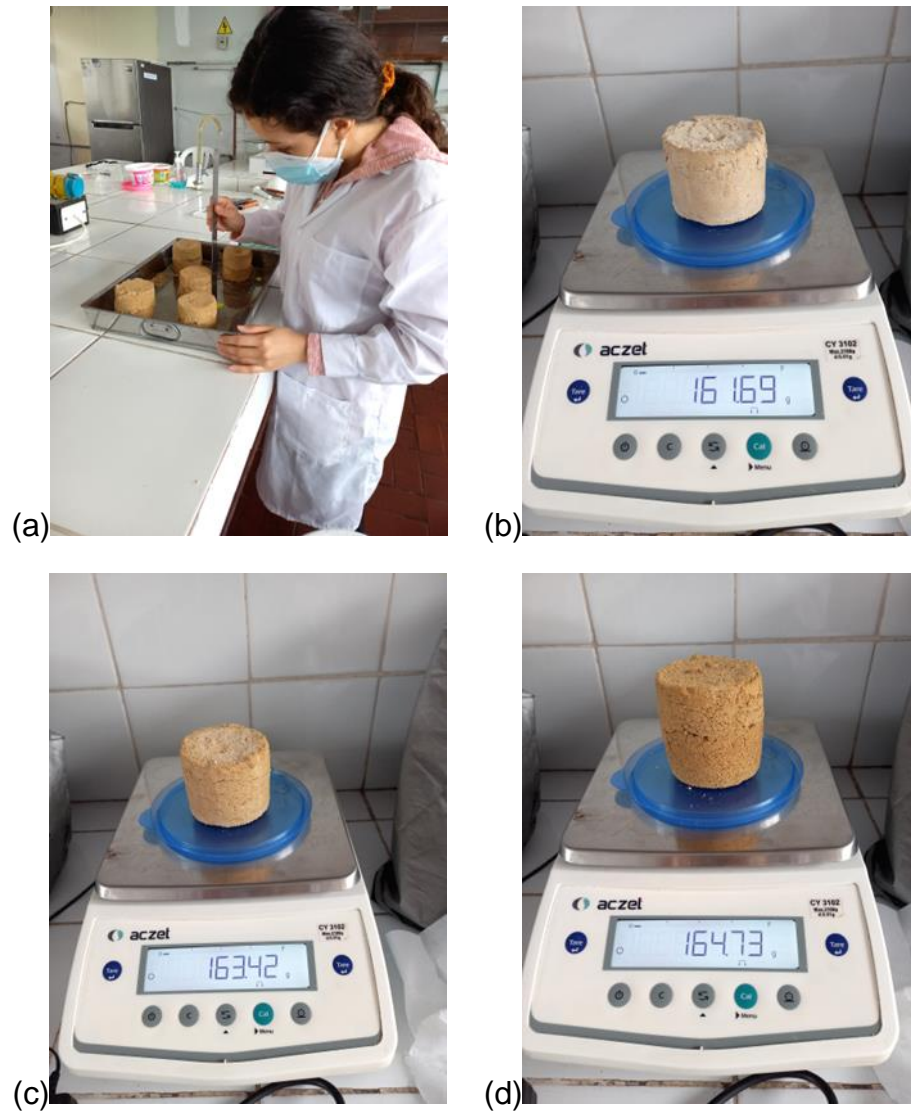
Briquetas con proporción de 90/10 después del proceso de secado



Nota. Izquierda: briquetas de proporción de 90/10 secadas en la estufa

Figura 36

Determinación de la densidad aparente de las briquetas



Nota. (a) Determinación del volumen de las briquetas, (b) Determinación del peso de la briqueta con proporción 50/50, (c) Determinación del peso de la briqueta con proporción 70/30, (d) Determinación del peso de la briqueta con proporción 90/10.

Figura 37

Encendido de briquetas



(a)



(b)

Nota. (a) Encendido de briquetas de proporción 70/30, (b) Encendido de briquetas de proporción 90/10

Figura 38

Muestra de cascarilla de café para su análisis en laboratorio



Figura 39

Preparación de muestras para su análisis proximal y energético



Nota. Izquierda: muestra de briquetas con proporción de 50/50. Centro: muestra de briquetas con proporción de 70/30. Derecha: muestra de briquetas con proporción de 90/10.