

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

OBTENCIÓN DE BRIQUETA A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ Y
CEBADA PARA USO COMO FUENTE ENERGÉTICA ALTERNATIVA.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Andrea Michelle Jiménez Cabrera

Allan Stefano López Torres

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

A mi madre Flor, cuya fortaleza, amor y sacrificio iluminaron cada paso de este camino. A mi padre Ernesto, por su guía firme y apoyo incondicional que me impulsaron a superar desafíos. A Carla, mi compañera de risas y confidencias, por estar siempre cerca. A mi pareja, por ser mi compañero en esta travesía. Y a mi querida Tila, aunque ya no esté a mi lado físicamente, su lealtad y cariño siguen guiándome. Este proyecto lleva la esencia de cada uno de ustedes, mis pilares. Con amor y gratitud eternos, Andrea Jiménez.

A mi madre, Jenny Torres, el pilar indomable y la luz constante en mi viaje académico y en la vida. Su amor incondicional, sacrificio y fe en mí han sido el combustible detrás de cada paso que he tomado. A mi familia, por su apoyo inquebrantable, por sus palabras de aliento en los momentos más desafiantes y por celebrar conmigo cada pequeño logro. A mis amigos, que me han recordado siempre el valor de la perseverancia, la alegría de la curiosidad y la importancia de compartir momentos y conocimientos, Allan López

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestro agradecimiento al Laboratorio de Hidrocarburos (ESPOL) por brindarnos instalaciones y equipos esenciales para nuestra investigación, y al Taller Industrial Ramos por su generosidad al permitirnos utilizar sus instalaciones para la construcción del prototipo. A todos los miembros de ambos lugares, apreciamos su valiosa contribución. Su apoyo ha sido de gran utilidad en el éxito de este proyecto.

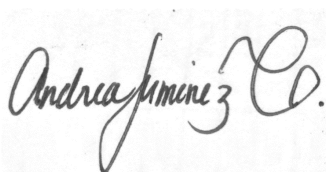
DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Andrea Michelle Jiménez Cabrera y Allan Stefano López Torres acordamos y reconocemos que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 2023.



Andrea Michelle Jiménez
Cabrera



Allan Stefano López Torres

EVALUADORES

Ing. Nadia Flores
Profesor de Materia

MsC. Michael Rendón
Tutor de proyecto

RESUMEN

Los desechos sólidos manifiestan una amenaza ambiental gracias a su excesiva y descontrolada producción. Este proyecto plantea el uso de dos desperdicios para la obtención de briquetas, con el objetivo de reutilizar biorresiduos para generar energía.

Con un enfoque experimental, este estudio se centró en varios aspectos como determinar la mezcla adecuada de biomasa de café y cebada; diseñar y construir una máquina briquetadora, y llevar a cabo la caracterización fisicoquímica del producto final. La briqueta resultante consistió en un 60 % de residuos de café (RC), 26% de residuos de cebada (RB), 9% de almidón de yuca como aglomerante y un 5% de agua. Estas briquetas se moldearon en forma cilíndrica.

La caracterización fisicoquímica se basó en la normativa ISO 17225 – 7 para briquetas de carácter no leñoso. Los análisis arrojaron los siguientes resultados: poder calorífico de 20529 kJ/kg, contenido de cenizas del 1.68%, humedad total del 5.46% y densidad $0.538 \frac{g}{cm^3}$. Otros análisis fisicoquímicos que se realizaron fueron: material volátil en 83.37% y carbono fijo de 9.49%. Se concluye que: las briquetas tienen un considerable poder calorífico que puede aprovecharse como fuente de energía y cumplen con los parámetros fisicoquímicos que indica la norma.

Palabras Clave: Poder calorífico, Caracterización, Briqueta, Biorresiduos.

ABSTRACT

Solid waste represents an environmental threat due to its excessive and uncontrolled production. This project proposes the use of two waste products to obtain briquettes, with the aim of reusing biorresidual waste to generate energy.

With an experimental approach, this study focused on various aspects such as determining the appropriate blend of spent coffee grains and barley bagasse, designing, and constructing a briquette-making machine, and conducting the physicochemical characterization of the final product. The resulting briquette consisted of 60% spent coffee grains (RC), 26% barley bagasse (RB), 9% cassava starch as a binder, and 5% water. These briquettes were molded in cylindrical shape.

The physicochemical characterization was based on ISO 17225 – 7 standards for non-woody briquettes. The analyses yielded the following results: calorific value of 20529 kJ/kg, ash content of 1.68%, total moisture of 5.46%, and density $0.538 \frac{g}{cm^3}$. Other physicochemical analyzes that were made to know the composition of the briquette after combustion were: 83.37% volatile material and 9.49% fixed carbon. In conclusion, it is inferred that the briquettes possess a significant calorific value that can be harnessed as an energy source, and furthermore, they meet the physicochemical parameters indicated by the standard.

Keywords: *Calorific power, Characterization, Briquette, Biowaste.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	9
1.1 Introducción	10
1.2 Descripción del problema.....	10
1.3 Justificación.....	11
1.4 Objetivos.....	11
1.4.1 Objetivo general	11
1.4.2 Objetivos específicos.....	11
1.5 Marco teórico.....	12
1.5.1 RC de la industria del café	12
1.5.2 RB como residuo de la industria cervecera	13
1.5.3 Biomasa.....	14
1.5.4 Biocombustibles sólidos.....	16
1.5.5 Aglutinante.....	16
1.5.4 Poder calorífico	17
1.5.7 Humedad.....	18
1.5.8 Cenizas	18
1.5.9 Densidad	18

1.5.10 Material volátil.....	18
1.5.9 Carbono fijo	19
CAPÍTULO 2	20
2. Metodología.....	21
2.1 Materiales.....	22
2.1.1 Equipos	22
2.1.2 Instrumentos	23
2.2 Recolección de muestras	23
2.3 Determinación de la mezcla para composición biorresidual de briquetas	23
2.4 Máquina briquetadora	24
2.5 Elaboración de briquetas	24
2.5.1 Mezcla de materias primas.....	25
2.5.2 Preparación y adición de aglutinante	25
2.5.3 Fabricación de la briqueta húmeda.....	25
2.5.4 Secado.....	26
2.6 Caracterización fisicoquímica de la briqueta.....	26
2.6.1 Determinación de humedad total	26
2.6.2 Determinación de contenido de cenizas	27
2.6.3 Determinación de poder calorífico	27
2.6.4 Determinación de material volátil.....	27
2.6.5 Determinación de carbono fijo	28
2.6.6 Determinación de densidad	28
CAPÍTULO 3	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
3.1 Resultados de la determinación de la composición inicial de la briqueta	30
3.2 Resultados de construcción de briquetera	32

3.3	Resultados del secado de la briqueta.....	32
3.4	Resultados de composición final de briqueta	32
3.5	Resultados de caracterización fisicoquímica de briqueta	33
3.6	Resultados de análisis económico.....	35
CAPÍTULO 4		39
4.	Conclusiones y Recomendaciones	40
4.1.1	<i>Conclusiones</i>	40
4.1.2	<i>Recomendaciones</i>	41
BIBLIOGRAFÍA.....		42
ANEXOS		45

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
RB	Bagazo de cebada
RC	Residuo de café
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Celsius
g/cm^3	Gramos sobre centímetro cúbico
kJ/kg	Kilojulio sobre kilogramo
kW	Kilo Watts
kWh	Kilo Watts por hora
C	Carbono
O	Oxígeno
H	Hidrógeno
N	Nitrógeno
S	Carbono
Cl	Cloro
As	Arsenio
Cd	Cadmio
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Hg	Mercurio
Ni	Níquel
Zn	Zinc

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Composición inicial de la briqueta</i>	31
Figura 2 <i>Piezas de la briquetadora (A, B, C, D respectivamente)</i>	32
Figura 3 <i>Aproximación a la composición final de la briqueta</i>	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variable e indicadores</i>	22
Tabla 2 <i>Humedades totales iniciales con la que se recibe cada uno de los biorresiduos</i>	30
Tabla 3 <i>Proporciones de biorresiduos con sus respectivas capacidades caloríficas</i>	30
Tabla 4 <i>Límites de propiedades fisicoquímicas para las briquetas de biorresiduos</i>	33
Tabla 5 <i>Otras propiedades fisicoquímicas de las briquetas de biorresiduos</i>	34
Tabla 6 <i>Costos de fabricación de las briquetas de biorresiduos</i>	36

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

1.2 Descripción del problema

En la huella ecológica de las industrias cafeteras y cerveceras se generan toneladas de biorresiduos sólidos, los mismos que son descartados y recogidos por el servicio de recolección municipal. En el caso de la industria cervecera se generan residuos de cebada conocidos como bagazos, producto del proceso del macerado, aquellos pueden ser parcialmente aprovechados por industria ganadera, entre otros. Por otro lado, en el caso de la industria cafetera los desechos de café tostado y filtrado se intentan aprovechar como fertilizante para plantas, como producto cosmético casero, entre otros, de manera que se pretende decrecer el exceso de las masas descartadas. Sin embargo, existe un remanente de ambas industrias que no se utiliza, generando entre ellos subproductos que tienen un valor energético aprovechable.

La naturaleza de los procesos productivos para la cerveza y café involucran su contacto con un exceso de agua para extraer los componentes deseados de dichas biomásas, de manera en que sus biorresiduos contienen un alto porcentaje de humedad, debido a esta gran cantidad de agua aquellos residuos tendrán inclinación a la putrefacción y generación de moho, esto representa una prominente contaminación al ambiente, agua y suelos, genera olores desagradables, emisiones de gases de invernadero, transmisión de gérmenes. Además, debido a que ocupan un alto volumen, tanto el almacenamiento de esta como su logística son un inconveniente para las industrias que los producen.

En el ámbito ecológico, los combustibles fósiles son fuentes de energía no renovable y es una fuente limitada y agotable, la misma que cuya combustión contribuye a la actual alta velocidad de cambios climáticos, dados por la acumulación de gases de invernadero en la atmósfera, existe una necesidad tangible de trascender del uso de combustibles fósiles a fuentes de energía de carácter renovable.

1.3 Justificación

Esta investigación está orientada a la evaluación de una propuesta de aprovechamiento de biorresiduos que contienen un considerable poder calorífico y que en la actualidad son descartados, este planteamiento podría incluirse como una adición al proceso productivo para reutilizar los residuos de las industrias individuales o como colectivo fomentando el rendimiento y reciclaje de los recursos disponibles

Adicionalmente se busca alivianar la carga de residuos biodegradables que se acumulan en los vertederos municipales, así como promover el uso de biocombustibles como alternativas a los combustibles fósiles, aminorando la carga de gases nocivos generados en la combustión de derivados de petróleo utilizados comúnmente, ya que, en contraste a estos, los biocombustibles al combustionar dan origen gas carbono que volverá a ser captado a lo largo del proceso vegetal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad calorífica de mezclas de residuo de biomasa de café y cebada con miras en la elaboración de comprimidos sólidos como una propuesta de energía alternativa.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la capacidad calorífica en las mezclas de biomasa de café y cebada mediante el uso de la bomba calorimétrica.
2. Elaborar una briqueta mediante un diseño de prototipo de briquetera para la compactación de los biorresiduos.
3. Caracterizar la muestra de un comprimido sólido obtenida mediante análisis fisicoquímicos.

1.5 Marco teórico

1.5.1 RC de la industria del café

En el proceso industrial del café existen diversos pasos para procesar el café que ingresa como materia prima a la producción, entre estos están el tostado, molido, filtrado entre otros (Murthy & Madhava Naidu, 2012). Durante la técnica húmeda, la pulpa es removida mecánicamente y secada, a partir de estos procesos se estima que la producción de residuos de café a nivel industrial mundialmente es de aproximadamente 6 millones de toneladas al año. Durante la extracción del café pasado solo se sustrae aproximadamente 35% en peso de los granos del café y durante la producción de café soluble, por cada kg de café soluble producido se generan 2 kg de RC. El resultante de cualquiera de estas metodologías se dirige directamente a los vertederos municipales donde, a pesar de ser un sustrato orgánico, en contraste a otros contiene componentes con efectos adversos para el medio ambiente, tales como tanino, polifenol y cafeína, contenido que se lo cataloga como tóxico (Battista et al., 2020).

Dentro de la composición y propiedades, varían en un amplio rango, ya sea por el método de extracción, las condiciones de crecimiento del fruto del café o el tipo de café en sí, sin embargo, la mayoría de RC tiene composición similar en donde se destacan los polisacáridos, más específicamente la celulosa y hemicelulosa, que combinados llegan a conformar aproximadamente el 50% de la masa en base seca de RC, el siguiente compuesto más abundante corresponde a la lignina y proteína que aproximadamente constituyen alrededor del 40% de masa en base seca entre ambas, seguidos de los lípidos que aproximan un 15% de su composición en masa seca y finalmente el 5% restante corresponderían a componente hallados en menores proporciones como cenizas, fenoles, minerales, cafeína y taninos. (McNutt & He, 2019)

Desechar el RC directamente a vertederos trae desventajas económicas y ecológicas, de manera en que ciertos métodos alternativos han sido establecidos para utilizar el recurso que

remanece en el RC, ya sea extracción de aceite o azúcares de la materia para generar biocombustibles renovables, este siendo uno de los temas más populares en cuanto a investigación de usos alternos de RC, otra utilización es aislando los remanentes fenoles y antioxidantes para uso como suplementos nutraceúticos e inclusive como fertilizante Sin embargo, esta última se ha determinado perjudicial debido a su alto radio de carbono-nitrógeno, contenido de fenoles y acidez; siendo solo eficiente cuando los RC se mezclan con otro tipo de compostaje (McNutt & He, 2019).

1.5.2 RB como residuo de la industria cervecera

El bagazo de cebada es el residuo que compone la mayor proporción de todos los desechos generados en la industria cervecera, este corresponde a alrededor del 85%. Se estima que la materia que continua con el proceso productivo corresponde a aproximadamente 69% en peso de la malta, el remanente se convierte en desecho.

Los mayores componentes de esta biomasa se encuentran en la cubierta de la semilla, la misma que es rica en polisacáridos celulosos y no celulosos, a su vez puede contener pocas cantidades de lípidos y proteínas, junto con considerables cantidades de sílica y muchos componentes polifenólicos del grano en sí. La composición química del grano dependerá de la variedad de cebada, tiempo de sembrado, condiciones del macerado, la calidad y tipo de aditivos, pero en general el RB es considerado un material lignocelulósico que tienen sustanciosas cantidades de proteína (aproximadamente 20%) y fibra (aproximadamente 70%) de su composición, en menos cantidades se encuentran los lípidos, cenizas y minerales como calcio, cobalto, hierro, magnesio, sodio, sulfuro, fosforo, cobre, que corresponden al resto de la composición de esta biomasa (Mussatto et al., 2006).

El mayor uso que se le proporciona al RB debido a su bajo costo y gran disponibilidad es como alimento de ganado, el cual puede ser alimentado inclusive húmedo, combinado con urea proveen todos los aminoácidos esenciales para la nutrición animal, funcionando como un coadyuvante al aumento de peso del ganado. Además, se ha considerado su uso o incorporación a la dieta humana gracias a su gran contenido de fibras, proteína y minerales, sin embargo, la posibilidad de ser utilizada ha sido cuestionada ya que variables como la apariencia, textura y sabor necesitan ser evaluadas y aceptadas por el consumidor. Otra rama que explora la utilización del RB, es la producción de energía, investigaciones son elaboradas en base a la utilización de la celulosa para la producción de bioetanol e incluso la posibilidad de producción de biogás (Mussatto, 2014).

El mayor uso que se le proporciona al RB debido a su bajo costo y gran disponibilidad es como alimento de ganado, el cual puede ser alimentado inclusive húmedo, combinado con urea proveen todos los aminoácidos esenciales para la nutrición animal, funcionando como un coadyuvante al aumento de peso del ganado. Además, se ha considerado su uso o incorporación a la dieta humana gracias a su gran contenido de fibras, proteína y minerales, sin embargo, la posibilidad de ser utilizada ha sido cuestionada ya que variables como la apariencia, textura y sabor necesitan ser evaluadas y aceptadas por el consumidor. Otra rama que explora la utilización del RB, es la producción de energía, investigaciones son elaboradas en base a la utilización de la celulosa para la producción de bioetanol e incluso la posibilidad de producción de biogás (Mussatto, 2014).

1.5.3 Biomasa

La biomasa se conoce como todo material que es procedencia biológica exceptuando aquellos que experimenta un proceso de mineralización, este tiene como componentes

principales: celulosa, lignina y hemicelulosa; la relación de estos es determinante en el proceso de elaboración de combustibles. Existen diferentes tipos de biomasa dependiendo de su origen: agrícolas, forestales, restos de tratamientos silvícolas, etc (Álvarez Rodríguez et al., 2013).

Las biomásas se consideran una fuente renovable ya que aquellas tienen la tendencia de regenerarse para reemplazar la porción removida por su consumo o uso, en su mayoría por su reproducción natural, estas materias se encuentran en el medio ambiente y contribuyen a que el planeta sea habitable. Estos materiales utilizan fotosíntesis asistida por la conversión de energía solar como catalizador, esta reacción puede ser descrita como: $H_2O + CO_2 \rightarrow CH_2O + O_2$.

Entre los componentes que contribuyen a la sostenibilidad de la biomasa se encuentra la celulosa, aquella que consiste en un polisacárido con una cadena lineal de numerosos $\beta(1 - 4)$ vinculados a unidades de D-glucosa, la misma que está compuesta por 61.44% C, 6.17% H y 32.39% O, estas largas cadenas de celulosa la ayudan a tener una buena fuerza de tensión de este modo tendrá una buena utilidad mecánica/térmica. Por otro lado, la hemicelulosa es un polisacárido que se encuentra vinculado a la celulosa, estos difieren en estructura, composición y función, este en su composición está conformado por monómeros de azúcar de diferentes estructuras. Por último, la lignina está caracterizada como un grupo estructural clave, este le da soporte a la planta que además provee buena fuerza mecánica y alta durabilidad para ciertos parámetros (Opia et al., 2019). En los últimos años ha resurgido el interés por la energía de la biomasa porque la biomasa se percibe como una fuente de energía neutra en carbono a diferencia de los combustibles fósiles que emiten carbono cuyo uso copioso ha provocado el calentamiento global y la acidificación de los océanos (Abbasi & Abbasi, 2010).

1.5.4 Biocombustibles sólidos

El término de biocombustibles sólidos hace referencia a los combustibles procedentes de materiales orgánicos cuyo estado de agregación es sólido, y que se utilizan en la generación de energía mediante una combustión. Estos combustibles representan una opción más sostenible que los tradicionales combustibles fósiles, como la reducción de gases de efecto invernadero y la reutilización de residuos de tipo orgánico que se presenta en diferentes industrias. Al tener en cuenta que estos son utilizados como sustitutos a los combustibles fósil es necesario que estos tengan una caracterización de acuerdo con su: densidad, poder calorífico, cenizas, y el contenido de humedad (Demirbas, 2007).

Avances dentro de la producción de biocombustibles se han llevado a través de los años con desarrollos de gran significancia. Los biocombustibles de primera generación tenían la imposición de que estaban derivados de cultivos alimenticios como maíz, caña de azúcar, entre otros, aquellos necesitan de agua, suelos o fertilización haciéndolos competencia directa con la producción alimenticia, de manera en que surgieron los biocombustibles de segunda generación, estos se obtienen a partir de remanentes de plantas derivadas de lignocelulosa no comestible, que consisten en hasta 70% de azúcares polimerizadas y constituyen la forma de biomasa más abundante del planeta Tierra (Liu et al., 2021).

1.5.5 Aglutinante

El aglutinante se encarga de la adhesión de las partículas mediante la formación de puentes donde se hallan los puntos de contactos, este tipo de fuerza adhesiva depende del solvente, diámetro de partícula, grado de dispersión y afinidad química. Estos se pueden dividir en 2 tipos, de origen orgánico e inorgánico (Carballo & Galindo, 2001). Dentro de la clasificación del tipo orgánico se encuentra el almidón de yuca, El mismo que está conformado

por estructuras poliméricas basadas en d-glucopiranososa que generalmente resulta en dos tipos de polímeros formados: amilosa y amilopectina, los que son polímeros lineales y ramificados respectivamente, dichas macromoléculas se encuentran en los gránulos en capas sucesivas. El fenómeno de gelatinización ocurre cuando estas moléculas son sometidas a calentamiento en presencia de agua, en este proceso los gránulos absorberán agua de manera en que se hinchan de forma irreversible, el rango de temperatura donde iniciaría este proceso para el almidón de yuca ocurre alrededor de 58.56 a 60.70 °C, la temperatura donde habrá la máxima cristalización corresponde a un rango de 63.37 a 64.80 °C y la temperatura donde finaliza el proceso es aproximadamente a 70 °C (García et al., 2016). Generalmente es aconsejable utilizar entre un 10-30%, la elección porcentual de aglomerante debe hacerse en consideración del impacto que tendría en el poder calorífico de la briqueta ya que a mayores proporciones puede afectar significativamente este (Mina, 2012).

1.5.4 Poder calorífico

El poder calorífico se conoce como la cantidad de energía, en unidades kilojulio o kilocalorías, que se realiza en la combustión de 1 kilogramos de combustible, este se clasifica en 2 tipos como: poder calorífico inferior y superior. En el caso del poder calorífico superior es la cantidad de energía que se produce en una combustión completa cuando el agua que se da en la reacción se condensa y libera su energía en forma calor latente. Por otro lado, el inferior se da en la misma condición que el superior, no obstante, solo se considera la energía liberada al quemar el combustible hasta la producción de vapor de agua (Agüero et al., 2004).

1.5.7 Humedad

El contenido de humedad señala la cantidad de agua en un material, aquella se expresa porcentualmente en diferentes bases (seca, húmeda, sin ceniza, etc.). La fracción de agua que contiene un biocombustible sólido está en directa correlación con su calidad ya que tiene un impacto en la durabilidad y densidad de la briqueta, un alto grado de humedad influye en la proliferación de microbios u hongos (Christoforou & A Fokaidis, 2019).

1.5.8 Cenizas

Las cenizas se dan a partir de la combustión o incineración de materia que en su composición este presente compuesto inorgánicos, mayormente sales minerales como: calcio, potasio, fósforo, hierro, entre otros. En el caso del combustible sólido este se quema y produce cenizas que son preferibles de mantener en un bajo porcentaje, debido a que una gran cantidad de ceniza representa contaminación de sólidos (Correa-Méndez et al., 2014).

1.5.9 Densidad

La densidad como parámetro para combustibles sólidos se relaciona con la capacidad de almacenamiento de estos, influye en el dimensionamiento o sus complejidades, también se relaciona con la conductividad térmica específica (Christoforou & A Fokaidis, 2019).

1.5.10 Material volátil

La materia volátil tiene la predisposición a no permanecer en un estado sino se vaporiza cuando se dan sus respectivas condiciones, esto depende de la volatilidad la cual se relaciona con la presión de vapor necesaria para el cambio de estado. Debido a esto la materia volátil se considera como una materia inestable. Se determina de la pérdida de masa cuando un

biocombustible sólido es sometido a pirólisis parcial bajo condiciones estandarizadas (Christoforou & A Fokaides, 2019).

1.5.9 Carbono fijo

El carbono fijo hace alusión a la parte no volátil que arde en forma sólida después de la combustión de un compuesto orgánico. Este se halla en el crisol donde se realizó la incineración luego de la determinación del material volátil y la sustracción de cenizas (Xavier et al., 2017).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

A partir de una investigación experimental, se emplearon dos biomásas residuales de procesos productivos de café y cerveza, donde la variable dependiente corresponde al tipo de mezcla y la independiente al poder calorífico de cada una de estas. La referencia que se utilizó es la norma ISO 17225, específicamente la Parte 7 que estandariza los biocombustibles sólidos, brinda especificaciones las que clasifican esta briqueta como no-leñosa ya que proviene de biomásas herbáceas, residuos de alimento o una planta procesadora de alimentos. Para direccionar las propiedades se determinó una mezcla de biomásas que contemple no solo la mayor capacidad calorífica sino también teniendo en cuenta que esa ocupe una significativa utilización de cada uno de los biorresiduos, a partir de esta determinación se incorporó almidón de yuca gelatinizado que, aprovechando sus propiedades como aglomerante, actuó como un pegamento para las biomásas. Para darle forma a esta mezcla húmeda se diseñó una briquetera que además de compactar la mezcla remueve parcialmente la humedad.

De acuerdo con la normativa guía, para que las briquetas puedan combustionar y que la actividad del agua no pudra o estimule la proliferación de microorganismos u hongos, estas necesitan contener una humedad inferior al 12% de manera en que se procedió a realizar su secado, el cual se ejecutó de manera híbrida, aprovechando una fuente de bioenergía (solar), esto combinado con el uso de una estufa para remover el remanente del agua dentro de la briqueta. Este proceso, aparte de remover agua, es necesario para que la briqueta mantenga su integridad después de ser compactada. La geometría de la briqueta, su compactación y posterior secado permite que esta permanezca unida de manera en que su manipulación, transporte y almacenamiento se posibilitan de una forma ordenada y minimizando el espacio que este ocupa.

Tabla 1*Variable e indicadores*

Variable	Definición conceptual	Indicador	Metodología
Mezclas de biorresiduos <i>(Dependiente)</i>	RC y RB recolectados como muestra	Porcentaje de proporción (%)	Mezcla por agitación mecánica
Poder calorífico <i>(Independiente)</i>	Cantidad de energía contenida por unidad de masa	Poder calorífico <i>(KJ/kg)</i>	Norma ASTM D-240

2.1 Materiales

2.1.1 Equipos

- Bomba calorimétrica marca IKA modelo C-200
- Termobalanza de la marca KERN modelo DBS 60-3
- Balanza analítica de la marca ADAM modelo PW 2452
- Balanza gramera digital de la marca CAS modelo XE-600 H
- Estufa de la marca HEMMERT modelo U40
- Plancha de calentamiento marca MTOPS modelo HS180
- Mufla marca BARNSTEAD INTERNATIONAL modelo FB1315M

2.1.2 Instrumentos

- Termómetro de mercurio (38-82)°C
- Vasos de precipitación 1000 ml
- Espátulas
- Agitador magnético
- Crisol
- Mechero Bunsen
- Pinzas
- Mortero
- Probeta 100 ml

2.2 Recolección de muestras

Se recopilaron muestras de ambas biomásas, en el caso del café, se recuperaron desechos de una cafetería, la misma que recibe el café tostado, lo muele in situ, lo filtra y desecha el RC, aquel que solo pasa por una extracción antes de ser descartado.

Mientras tanto, el residuo de la biomasa de bagazo es recuperado a partir de los productos de descarte de un resto-bar que produce cerveza de manera artesanal, dicho desecho proviene de la etapa de macerado, la misma que dura aproximadamente 1 hora.

2.3 Determinación de la mezcla para composición biorresidual de briquetas

Una vez recolectadas las materias primas, se procedió a realizar distintos análisis entre ellos se determinó la humedad total de la materia prima con la ayuda de una termobalanza de la marca KERN modelo DBS 60-3 para que se pueda direccionar la humedad total del producto final o briquetas.

Como parte de la determinación de capacidad calorífica se realizó el secado de la materia prima (RB, RC) durante aproximadamente 5 horas en la estufa a una temperatura de 105°C, esto se lleva a cabo para reducir la humedad rápidamente de la materia prima, debido a que con el porcentaje alto de agua intrínseco de las materias residuales este no combustionaría dentro de la bomba calorimétrica si se realiza el ensayo en la materia húmeda, de manera en que la humedad de las materias primas se redujo a un porcentaje menor al 12%.

Una vez secos se elaboran mezclas en diferentes proporciones RB:RC m/m% (100:0, 90:10, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90, 0:100) donde para reducir el tamaño de las partículas y que se encuentren correctamente integradas se procedió a molturar.

Una vez correctamente integradas las mezclas, se realizaron 4 ensayos por mezcla para determinar un promedio de la capacidad calorífica de cada una de ellas, la selección de la mezcla óptima se determinó en base al valor del poder calorífico que contengan y en consideración del mayor aprovechamiento posible de ambos biorresiduos.

2.4 Máquina briquetadora

Se elaboró un diseño de una briquetadora artesanal, que utilizando una prensa mecánica proporcionó compresión a la mezcla para compactarla de manera cilíndrica. Los planos detallados de la briquetadora diseñada se encuentran en el ANEXO A.

2.5 Elaboración de briquetas

Una vez que se determinaron todos los componentes y la proporción que se emplea para la elaboración de las briquetas. Se proporciona una serie de imágenes detalladas que documentan el proceso completo de fabricación de la briqueta. Estas imágenes están disponibles en el ANEXO B de este documento.

2.5.1 Mezcla de materias primas

Mediante un balance de masa y tomando como referencia la humedad total inicial medida, se determinó la cantidad de RB y RC para alcanzar la proporción de la mezcla final deseada de biomasa una vez secadas.

2.5.2 Preparación y adición de aglutinante

Por cada kg de mezcla húmeda se calcularon los gramos de aglomerante para alcanzar un porcentaje del 10% m/m de aglutinante en base seca de la briqueta. En un vaso de precipitación se combinó aglutinante con agua en proporción 1:2, los mismos que se sometieron a calentamiento hasta una temperatura de aproximadamente 65 °C durante 30 minutos para que se gelatinice y sus gránulos de almidón se hinchen para que suplan su función como aglomerante, con la ayuda de un agitador magnético se aseguró la uniformidad de la solución. Luego se procedió a enfriar la misma hasta alcanzar temperatura ambiente.

Una vez que la temperatura de la solución alcanzó la temperatura ambiente, se incorporó la misma en la mezcla de biorresiduos y se amasaron juntos de manera manual hasta formar una pasta de apariencia y consistencia uniforme al tacto.

2.5.3 Fabricación de la briqueta húmeda

Para fabricar las briquetas utilizando la briquetadora artesanal, se dividió la masa preparada en porciones de aproximadamente 250 gramos, se enrosca la pieza A con C y se colocaron porciones de la mezcla húmeda, se tomó la pieza B y se colocó lo más perpendicular posible a los bordes de la pieza A. Utilizando una prensa mecánica se presionó de manera en que la mayor parte posible del agua libre se expulse por los agujeros de la briquetera. En caso de

que la pieza B se quede retenida dentro de la pieza A, liberar la presión utilizando la prensa y la pieza D para desapretar la pieza A y a su vez remover la briqueta formada.

2.5.4 Secado

Para remover la gran cantidad de humedad que permanece dentro de la briqueta se realizó una modalidad de secado de manera híbrida, esto se hizo exponiendo las briquetas al sol hasta alcanzar una humedad de aproximadamente 30% para posteriormente secar en estufa a una temperatura de 105°C, hasta alcanzar los límites de humedad descritos por la norma guía, es decir menor al 12%.

Para determinar el tiempo de secado mediante exposición solar, se pesó una briqueta referencial previo al proceso de secado, el mismo que se realizó durante varios días ininterrumpidos en los cuales no hubo precipitaciones ni lluvias.

2.6 Caracterización fisicoquímica de la briqueta

Para asegurarse que las propiedades fisicoquímicas de las briquetas cumplan con los rangos proporcionados por la norma guía ISO 17225 – 7. Las briquetas, deberían contar con las siguientes propiedades: humedad ($\leq 12\%$), poder calorífico (≥ 14500 KJ/kg), cenizas ($\leq 6\%$ m/m). Además, se determinaron otros parámetros como material volátil y carbono fijo.

2.6.1 Determinación de humedad total

Esta se determinó mediante el uso de termobalanza de la marca KERN modelo DBS 60-3, en la cual se agregó una masa significativa de la briqueta y se esperó el tiempo de operación del equipo hasta recibir el dato.

2.6.2 Determinación de contenido de cenizas

La determinación del contenido se basó en método de la norma ASTM D-482, de manera que se agregó una muestra de briqueta determinada en un crisol totalmente seco, la cual se procede a quemar hasta que solo remanezcan las cenizas, a partir de esto se determinó la diferencia entre peso inicial y final. Finalmente se introdujo a la estufa a 750 °C y se volvió a tomar el dato hasta obtener un peso constante.

2.6.3 Determinación de poder calorífico

Se midió utilizando la bomba calorimétrica marca IKA modelo C-200, la cual su manual instruye pesar 0.5 gr de la muestra (briqueta), donde el equipo mediante un proceso de combustión completa realizó los cálculos del poder calorífico basados en la norma ASTM D-240.

2.6.4 Determinación de material volátil

Se calculó el material volátil utilizando la norma ASTM D-1762, el procedimiento consta de tomar aproximadamente 2 gramo de la muestra (briqueta) y colocarlo en un crisol para luego someterlo a una temperatura de 950°C en la mufla por 7 minutos. Posterior a esto se procedió a dejar enfriar la muestra en un desecador por 30 minutos, y pesarla. Y mediante la diferencia porcentual de los pesos y la humedad de muestra que se obtuvo en análisis anteriores, se calculó el porcentaje de material volátil.

2.6.5 Determinación de carbono fijo

Mediante el uso de la norma ASTM D-1762 se calculó el carbono fijo de las briquetas de biomasa de café y cebada. El procedimiento se realizó luego de determinar los porcentajes de material volátil, humedad y cenizas, estos se suman y se restan del 100 % que constituye el total del producto. El porcentaje que resultó representa la cantidad de carbono fijo.

2.6.6 Determinación de densidad

Se utilizó el método de inmersión el cual consistió en pesar la briketa con una balanza analítica, llenar un recipiente con volumen graduado e introducir la masa conocida. La densidad se determinó al dividir la masa sobre el volumen. Las unidades que se utilizaron son g/cm^3 .

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de la determinación de la composición inicial de la briqueta

Una vez determinadas las humedades iniciales de cada materia prima cuyos valores se encuentran descritos por la Tabla 2.

Tabla 2

Humedades totales iniciales con la que se recibe cada uno de los biorresiduos

Biorresiduo	Humedad total inicial
RC	63.40%
RB	70.06%

Después de haber realizado esta determinación, las mezclas para las cuales se determinaron poder calorífico están reflejados en la Tabla 3, aquellos denotan que la mezcla que contó con la mayor capacidad calorífica, será la mezcla con proporción 90:10 RC/RB, sin embargo seleccionar aquella implicaría que no ocurriría un aprovechamiento considerable del biorresiduo de cebada, de manera que, considerando esto y que difieren en tan solo aproximadamente 532 KJ/kg, se seleccionó una proporción 70:30 de la mezcla.

Tabla 3

Proporciones de biorresiduos con sus respectivas capacidades caloríficas

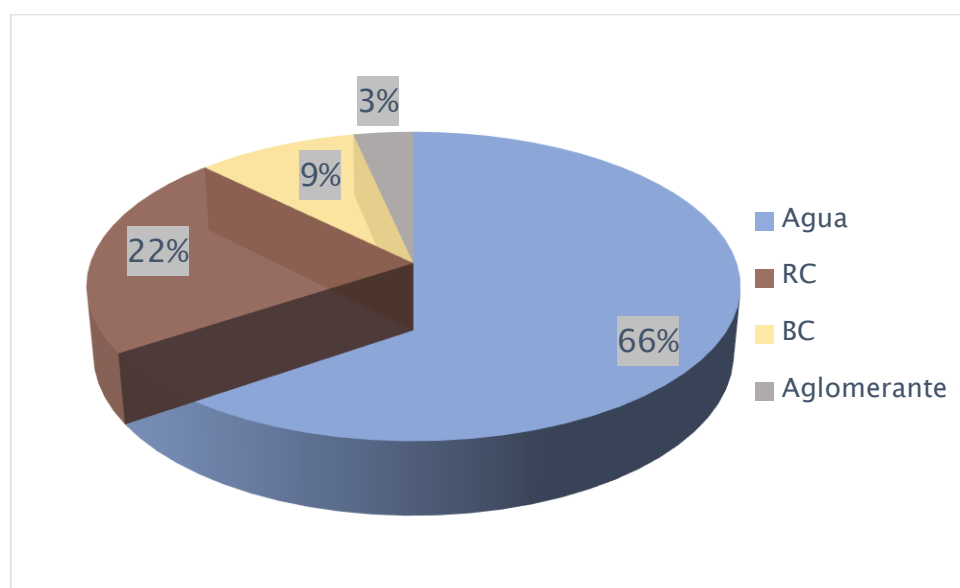
Proporción (café/cebada)	Café (g)	Cebada (g)	Capacidad
			calorífica promedio kJ/kg
90:10	360	40	20325.5
70:30	280	120	19792.75
50:50	200	200	19456.25

30:70	120	280	18725
10:90	40	360	18502.5
100:0	400	0	21209.75
0:100	0	400	18421.75

Utilizando la proporción de la parte biorresidual de la materia seleccionada 70:30, se determinó mediante un balance másico que para llegar a esa composición se debió mezclar materias primas húmedas en una relación de 1.91 kg de RC por cada kg de RB, en cuanto al aglomerante se debió añadir 38.13 gramos de aglomerante (almidón de yuca) por cada kilogramo de mezcla húmeda, de manera que después del secado este pueda constituir el 10% de la briqueta, la Figura 1 1 es una representación de la mezcla inicial previo a la compactación y su posterior secado.

Figura 1 1

Composición inicial de la briqueta



3.2 Resultados de construcción de briquetera

En base al diseño realizado se construyó la briquetera artesanal, que consta de 4 partes, aquella que funciona con la presión proporcionada por una prensa mecánica.

Figura 2

Piezas de la briquetadora (A, B, C, D respectivamente)



3.3 Resultados del secado de la briqueta

Una vez que las briquetas fueron prensadas dentro de la briquetera construida, esta pierde agua a través de los orificios, para continuar con la remoción del excedente de agua, esta se expone al sol, donde la briqueta de referencia alcanzó una humedad de aproximadamente del 30% al cabo de 4 días ininterrumpidos. Una vez alcanzada esta humedad, se necesitaron 3 horas de secado a 105°C en la estufa para alcanzar el rango de referencia de humedad descrita por la normativa guía.

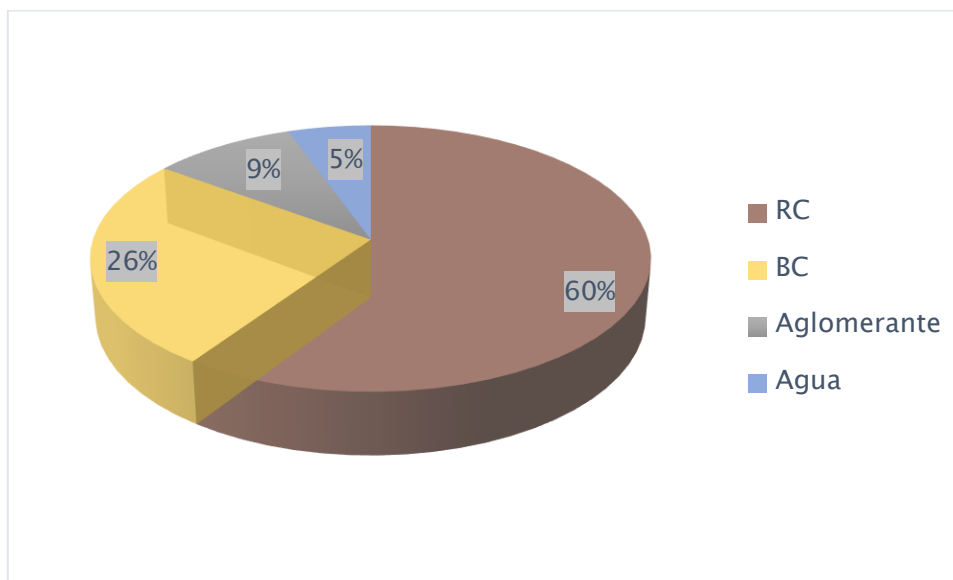
3.4 Resultados de composición final de briqueta

Para los cálculos y porcentajes se asumen mínimas pérdidas proporcionales para cada componente sólido, y una vez medida la humedad remanente en la briqueta mediante la termobalanza se reportó un valor de 1.16%. Sin embargo, luego de que la briqueta permanezca

expuesta al ambiente durante una semana esta adquiere una humedad de 5.46%, de manera en que la composición final se aproxima a la representación a través de la Figura 3.

Figura 3

Aproximación a la composición final de la briqueta



3.5 Resultados de caracterización fisicoquímica de briqueta

Tabla 4

Límites de propiedades fisicoquímicas para las briquetas de biorresiduos

Propiedades	Límite	Briqueta
Poder Calorífico (KJ/kg)	mínimo 14500	20529
Ceniza % (m/m)	máximo 6	1.68
Humedad % (m/m)	máximo 12	5.46
Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	máximo 0.9	0.538

Nota. Límites permisibles tomados de la normativa ISO 17225 – Parte 7

Tabla 5*Otras propiedades fisicoquímicas de las briquetas de biorresiduos*

Propiedades	Briqueta
Material volátil % (m/m)	83.37
Carbono fijo % (m/m)	9.49

En base de la guía de estandarización ISO 17225 – 7, para briquetas de origen no leñoso se realizaron los análisis listados en la Tabla 4 para establecer los requisitos que debería de cumplir la briketa. En el caso del poder calorífico se logró obtener un resultado mayor al mínimo, esto se debe a que la briketa está compuesta en su mayoría por residuos de café y este cuenta con una capacidad calorífica de aproximadamente 21000 [kJ/kg], como se muestra en la Tabla 3. Esta propiedad del café se atribuye a la alta proporción de lignocelulosa que está presente, este al combustionar libera una gran cantidad de energía.

Por otra parte, el porcentaje de cenizas que se obtuvo de la briketa fue de 1.68%, este valor cumple el límite admisible y representa la cantidad de minerales que se encuentran en la muestra como el potasio, magnesio, calcio, fósforo y sodio. Es importante recalcar que esta cualidad está relacionada con la baja producción de residuos sólidos remanentes una vez combustionada la briketa, siendo esto una característica a favor del medio ambiente y aportando a su sostenibilidad.

En el caso de la densidad esta resultó ser $0.538 \frac{g}{cm^3}$, valor que, cumple con los parámetros de la norma ya que se encuentra por debajo de $0.9 \frac{g}{cm^3}$, la norma argumenta que se determina esta variable como un dato relevante para conocer el espacio que ocupa cierta masa con fines de almacenamiento y/o logística.

Otros análisis fisicoquímicos, no especificados en la norma, pero que se efectuaron con fines de conocer la cantidad de materia que se volatiliza cuando la briqueta combustiona fueron: el porcentaje de material volátil y la cantidad de carbono fijo. Material volátil se obtuvo un valor de 83.37%, este resultado es favorable en la briqueta porque señala los siguientes puntos: un alto valor energético debido a que los gases que se liberan son altamente combustibles, su encendido es rápido por los gases presentes y además esto aporta que el porcentaje de cenizas sea relativamente bajo. Finalmente, un valor del 9.49% de carbono fijo muestra que los componentes volátiles son predominantes en la briqueta, esto sugiere que durante la combustión la energía se libera de forma precipitada dejando una pequeña cantidad de carbono residual para quemarse.

3.6 Resultados de análisis económico

Se considera un análisis económico para la generación de las briquetas donde se tomaron los aspectos principales que podían representar un gasto como: la materia prima, método de secado, maquina briquetadora, aglomerante, entre otros. Recalcando que este proyecto se realizó en una escala de laboratorio, se realizó una comparativa con el carbón vegetal de uso doméstico utilizando la capacidad calorífica como punto de referencia que se estima ser de aproximadamente $26736 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ aquel que tendría un valor aproximado de precio del mercado por kilogramo de *US\$1.30*.

Considerando la capacidad calorífica del carbón y de la briqueta, se determinan que se necesitarían 1.3 kg de briqueta para producir la misma energía que 1 kg de carbón. Para producir un lote de briqueta bajo la capacidad de la estufa utilizada cuyas dimensiones limitan el espacio de secado, se lograron secar 60 briquetas a la vez, aquellas resultan en 4.2 kg de biomasa lista para la utilización, cuyos costos de producción se resumen mediante la Tabla 6 los que fueron

determinados utilizando la potencia nominal de la estufa (2 kW) y el costo de energía de la región (9.2 ctvs./kWh), aproximando este valor a US\$ 3.29 por lote es decir por 4.2 kg de producto.

Tabla 6

Costos de fabricación de las briquetas de biorresiduos

Gastos por lote	Costos (US\$)
Residuos Café	0.00
Residuos Cebada	0.00
Valor movilización	2.00
Precio electricidad/uso de estufa	0.64
Precio aglutinante	0.05
Uso briquetadora	0.60
Total	3.29

Nota. Lote a escala laboratorio.

Denotando que la materia prima fue recopilada como residuo, aquella no constituyó un valor monetario, más bien fue su recolección y movilización lo que representó un valor económico el mismo que se determinó mediante el valor del flete para la cantidad de materia prima recolectada, además se debe de recalcar que entre los valores económicos que representaría el almacenamiento son desestimados, ya que, para la cantidad referencial la materia prima húmeda se utilizaría inmediatamente posterior a la recolección, a grandes escalas si se requeriría de un espacio refrigerado para evitar su degradación y/o contaminación.

Ya que la máquina briquetadora constituye una sola inversión, se consideró en el sumario de costos su uso más no su valor en totalidad, dado que, no se podría atribuir su entera construcción a la generación de únicamente un solo lote, sino más bien, a un instrumento que

servirá para la producción de muchos de ellos, de manera en que el valor de su uso se aproximó a US\$ 0.60 por lote.

En comparativa para producir la misma energía que un kilogramo de carbón vegetal valorado en US\$ 1.3 se estimó que se necesitarían 1.3 kg de briqueta la cual costó en producir US\$ 1.02, en términos monetarios la producción de la misma cantidad energética mediante la combustión de briquetas es 21.5% menor al valor de la misma energía mediante la combustión de carbón vegetal. Adicional a esto, el factor ambiental debe de ser considerado para ambas producciones, mientras que la producción de carbón requiere del talado de árboles, las briquetas utilizan y aprovechan materia que de otra manera sería un desecho, reduciendo el impacto ambiental de distintas industrias que de otra modo no estarían correlacionadas, otro factor que representa una ventaja sobre el carbón vegetal es el tiempo de producción, el carbón requiere de 15 días aproximadamente, mientras que las briquetas residuales no superan los 5 días, sin embargo aquel tiempo depende del clima factor que está sujeto a cambios de acuerdo al calendario temporal que se encuentre atravesando la zona donde se pretenda secar aquellos. Además, el uso energético que requiere la generación de carbón es considerablemente más alto, ya que, aquel debe ser horneado en parvas cubiertas con barro durante el tiempo de producción, mientras que las briquetas requieren ser horneadas solo para remover el excedente de agua durante 3.5 horas.

A pesar todas las ventajas sobre el carbón vegetal, se deben de considerar otros factores que pueden representar una desventaja, como sería el olor que genera la combustión de la briqueta, puesto que, en su composición su porción mayoritaria está conformada por café, este teniendo un aroma distintivo que a pesar de no ser desagradable, para ciertos usuarios puede representar una inferioridad al carbón vegetal, otro obstáculo puede ser el tiempo de combustión, a pesar de que ambos tienen la capacidad de generar energía en forma de calor bajo la

observación de la combustión de la briqueta, aquella combustión relativamente rápida en relación con la velocidad a la que combustiona el carbón.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1 Conclusiones

- A partir un diseño propio se construyó una briquetera, gracias a este se logró generar briquetas de diámetro 8 cm y altura variable, este dispositivo tiene la capacidad de producir y dar forma a un sin número de ejemplares de manera artesanal o casera, es una alternativa económica, durable y fácil de usar. Sin embargo, el uso del dispositivo muestra una desventaja, pues solo permiten la fabricación de briquetas una a la vez.
- Con el fin de evaluar el poder calorífico de las biomásas de café y cebada se realizaron varios ensayos utilizando una bomba calorimétrica, se pudo observar que a mayor proporción de RB la capacidad calorífica desciende. No obstante, la parte biorresidual seleccionada para la briqueta estuvo compuesta por 70% de café y 30% de cebada, que, a pesar de no ser la mezcla evaluada con mayor cantidad de energía por kilogramo, esta permite el aprovechamiento considerable de ambos residuos con tan solo un 3% de diferencia en el poder calorífico de la mezcla 90:10. Mediante el uso de la información anterior y la determinación de la composición de la masa que conformaría la briqueta seca, se denota que, al evaluar el poder calorífico de la briqueta final construida, el aglomerante escogido no tiene un impacto negativo sobre esta.
- Una vez se determinaron las características fisicoquímicas que posee la briqueta, tomando como guía los parámetros descritos en la norma ISO 17225 – 7, haciendo contraste en los límites establecidos por ella se determina que todos los criterios evaluados están dentro del rango establecido, por lo tanto, la briqueta generada solo le restaría cumplir los criterios físicos y químicos que no fueron incluidos en el

alcance de los objetivos debido a que no se contaba con la capacidad analítica para efectuarlos.

4.1.2 Recomendaciones

- Implementar una guía en las paredes internas de la briquetadora de manera en que esta no se trabe y facilite remover la briqueta húmeda evitando además la deformación de esta y disminuyendo el tiempo de elaboración.
- Realizar una caracterización física que permita determinar la resistencia al aplastamiento, la medida de resistencia a la abrasión y al impacto, esto para permitir plantear un mejor almacenamiento y logística de acuerdo con sus características de resistencia física.
- Realizar una caracterización química de la briqueta, que incluya el resto de los parámetros a evaluar, para tener conformidad con la normativa ISO 17225 – 7, como contenidos de N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn.
- Conservar las materias primas o mezcla inicial de briqueta bajo refrigeración para evitar su descomposición y en envases adecuados ya que debido a su gran cantidad de humedad el agua puede decantar y derramarse en los alrededores.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2010). Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 3, pp. 919–937). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.006>
- Agüero, A. C., Pisa, J. R., Agüero, C. J., & Torres Bugeau, A. (2004). *Extensión Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar*.
- Álvarez Rodríguez, A., Consuelo, ;, García, P., Belén, M., & Díaz, F. (2013). *CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOMASA Y SU RELACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO*.
- Battista, F., Barampouti, E. M., Mai, S., Bolzonella, D., Malamis, D., Moustakas, K., & Loizidou, M. (2020). Added-value molecules recovery and biofuels production from spent coffee grounds. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110007>
- Carballo, L. M., & Galindo, H. M. (2001). *Estudio de los Procesos Sol-gel para la Obtención de un Aglutinante Apropriado para el Peletizado de Alúmina Estudio de los Procesos Sol-gel para la Obtención de un Aglutinante Apropriado para el Peletizado de Alúmina I. Ensayos de una Técnica de Peletizado*.
- Christoforou, E., & A Fokaidis, P. (2019). *Advances in solid biofuels*. <http://www.springer.com/series/8059>
- Correa-Méndez, F., Carrillo-Parra, A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Márquez-Montesino, F., González-Rodríguez, H., Jurado-Ybarra, E., & Garza-Ocañas, F. (2014). Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(1), 77–88. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.04.012>
- Demirbas, A. (2007). Progress and recent trends in biofuels. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 33, Issue 1, pp. 1–18). <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.06.001>

- Garcia, M. C., Franco, C. M. L., Júnior, M. S. S., & Caliarri, M. (2016). Structural characteristics and gelatinization properties of sour cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2), 919–926. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4990-5>
- Liu, Y., Cruz-Morales, P., Zargar, A., Belcher, M. S., Pang, B., Englund, E., Dan, Q., Yin, K., & Keasling, J. D. (2021). Biofuels for a sustainable future. In *Cell* (Vol. 184, Issue 6, pp. 1636–1647). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.052>
- McNutt, J., & He, Q. (Sophia). (2019). Spent coffee grounds: A review on current utilization. In *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (Vol. 71, pp. 78–88). Korean Society of Industrial Engineering Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.11.054>
- Mina, J. H. (2012). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) DE YUCA Y ANÁLISIS INTERFACIAL CON FIBRAS DE FIQUE PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH (TPS) AND INTERFACIAL ANALYSIS WITH FIQUE FIBERS CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICO DE UM AMIDO TERMOPLÁSTICO (TPS) DE MANDIOCA E ANÁLISE INTERFACIAL DE FIBRAS DE FIQUE. In *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 10, Issue 2). Julio-Diciembre.
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 66, pp. 45–58). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Mussatto, S. I. (2014). Brewer's spent grain: A valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1264–1275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. In *Journal of Cereal Science* (Vol. 43, Issue 1, pp. 1–14). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>

Opia, A. C., Hamid, M. K. B. A., Syahrullail, S., Rahim, A. B. A., & Johnson, C. A. N. (2019). Biomass as a potential source of sustainable fuel, chemical and tribological materials - Overview. *Materials Today: Proceedings*, 39, 922–928. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.045>

Xavier, F., Samaniego, H., Fernando, L., Vasquez, C., Emperatriz, I. S., & Murillo, P. (2017). *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA TEMA AUTORES: TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN*. www.fiq.ug.edu.ec

ANEXOS

Figura A3: Plano del diseño de la Pieza C.

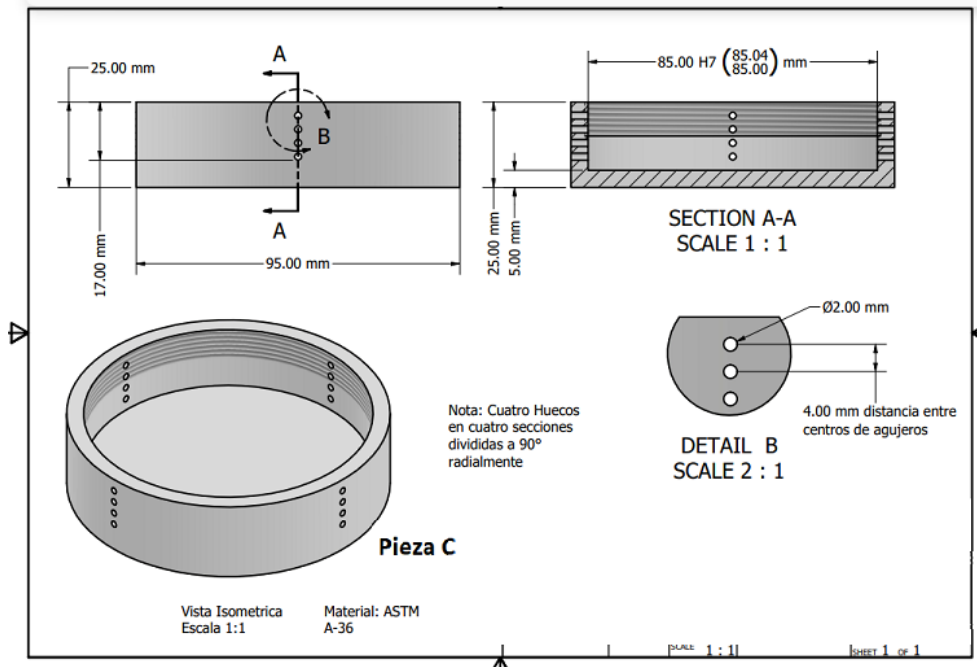
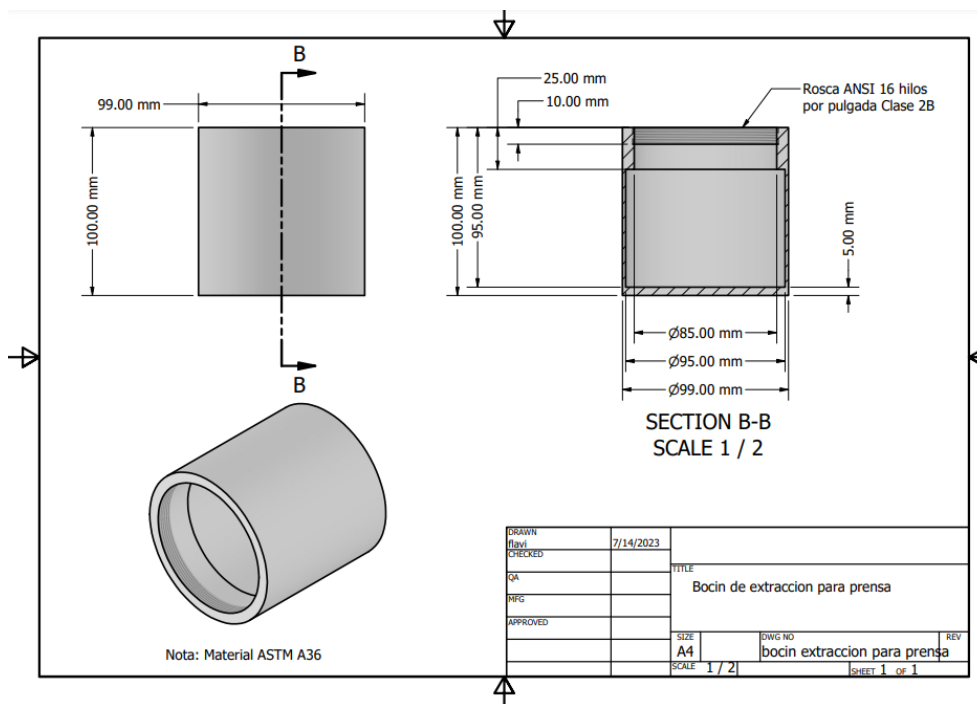


Figura A4: Plano del diseño de la Pieza D.



ANEXO B

Documentación fotográfica del proceso de creación del producto

Imagen B1: Mezcla de biomásas.



Imagen B2: Adición de aglutinante gelatinizado.



Imagen B3: Enroscado de la briquetera (Pieza A con Pieza C).



Imagen B4: Adición de mezcla con aglutinante dentro de la briquetera.



Imagen B5: Inserción del disco para moldear la biomasa.



Imagen B6: Imagen de la briquetera siendo sometida a presión con una prensa mecánica.



Imagen A7: Volteo de la briquetera para remover la pieza C.



Imagen A8 y A9: Inserción de la parte A con la parte D que se utiliza como herramienta para la liberación de la briqueta.



Imagen A10: Proceso de prensado para liberar la briqueta junto con la parte B.



Imagen A11: Briqueta húmeda removida de la briquetadora para proceso de secado al sol.



Imagen A12: Producto concluido después del proceso de secado al sol y estufa.

