



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Sobre las Briquetas de Diferentes Tipos de  
Biomasa, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Calderón Remaycuna, Luis Alberto (ORCID: 0000-0003-1137-3163)

Correa Bautista, Wilmer (ORCID: 0000-0003-1361-6579)

**ASESOR:**

Mg. Herrera Díaz, Marco Antonio (ORCID: 00000-0002-8578-4259)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

· Esta tesis está dedicada a Dios quien ha sido nuestro guía, fortaleza en estos tiempos difíciles que hemos pasado en esta pandemia, y a nuestros padres quienes siempre estuvieron para apoyarnos y no dejarnos rendir en este largo camino

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecer a Dios por darnos buena salud y cuidarnos siempre. Agradecer a nuestros padres por su apoyo durante esta etapa. También agradecer a la Mg. Herrera Díaz, Marco Antonio por el apoyo durante el periodo de la elaboración de tesis.

## Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Resumen	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	10
3.3. Escenario de estudio	14
3.4. Participantes	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección	15
3.6. Procedimientos	15
3.7. Rigor científico	16
3.8. Método de análisis de información	16
3.9. Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
V. CONCLUSIONES	35
VI. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	37

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Matriz de categorización de variables	10
<b>Tabla 2.</b> Matriz apriorística	12
<b>Tabla 3.</b> Resumen de la búsqueda	14
<b>Tabla 5.</b> Tipos de aglutinantes en la calidad de las briquetas	19
<b>Tabla 6.</b> Comparación de aglutinantes orgánicos e inorgánicos	22
<b>Tabla 7.</b> Tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas	24
<b>Tabla 8.</b> Propiedades físicas y químicas de las briquetas, según tipo de biomasa	28

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las briquetas de diferentes tipos de biomasa, especificando los aglutinantes, las biomasas y tecnologías que se emplean en su elaboración, así como los efectos de los aglutinantes y biomasas en la calidad y propiedades de las briquetas. El estudio fue de tipo aplicado, con diseño cualitativo y descriptivo, utilizando como técnica la revisión documental. Se analizaron un total de 41 artículos de revistas indexadas y un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO, empleando como buscadores Proquest, Ebsco, El sevier, Scielo y Springer. Los resultados mostraron que, los aglutinantes influyen de manera favorable en la calidad de las briquetas, dependiendo del nivel de concentración y de la presión de compactación; las tecnologías más empleadas en la elaboración de briquetas son la prensa extrusora de tornillo, prensa hidráulica y prensa de pistón; las biomasas más utilizadas son las agrícolas y forestales, las cuales tienen efectos variados en las propiedades físicas y químicas de las briquetas, dependiendo del tamaño de las mismas. Se recomienda profundizar el análisis de las emisiones generadas en la combustión de las briquetas y los costos en que se incurren para su producción.

Palabras clave: Briquetas, biomasa, aglutinantes, tecnologías, propiedades

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to evaluate the briquettes of different types of biomass, specifying the binders, biomass and technologies used in their preparation, as well as the effects of binders and biomass on the quality and properties of the briquettes. The study was of an applied type, with a qualitative and descriptive design, using documentary review as a technique. A total of 41 indexed journal articles and a report from the Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO were analyzed, using Proquest, Ebsco, El sevier, Scielo and Springer as search engines. The results showed that the binders favorably influence the quality of the briquettes, depending on the concentration level and the compaction pressure; The technologies most used in the production of briquettes are the screw extruder press, hydraulic press and piston press; the most widely used biomasses are agricultural and forestry, which have varied effects on the physical and chemical properties of briquettes, depending on their size. It is recommended to deepen the analysis of the emissions generated in the combustion of the briquettes and the costs incurred for their production.

Keywords: Briquettes, biomass, binders, technologies, properties

## I. INTRODUCCIÓN

Los depósitos mundiales de combustibles fósiles están disminuyendo a un ritmo acelerado, lo que obliga a los distintos países a buscar fuentes alternativas de energía renovable para satisfacer la creciente demanda, que se presenta como consecuencia del incremento de la población y de las actividades económicas (Kimutai y otros, 2019). Para la mayoría de los países en desarrollo, la biomasa, ha ganado prominencia como una de las fuentes de combustible de energía renovable más utilizadas (Ajimotokan y otros, 2019). Existen alrededor de 2,500 millones de personas en todo el mundo que dependen de la biomasa sólida, que se refiere a los residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos, que modificados mediante un tratamiento adecuado, permiten satisfacer las necesidades energéticas de los hogares (INBAR , 2020).

En este contexto, la fabricación de briquetas logra una utilización eficiente de la biomasa como fuente de energía renovable e inagotable, la cual genera varios beneficios para el medio ambiente, puesto que, reduce las emisiones de gases del efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno y azufre), ayuda en la recuperación de tierras degradadas y no utilizables para la agricultura, aumenta la participación de materias primas renovables garantizando la seguridad energética nacional, proporciona una fuente de calor económica y en el proceso de combustión, genera un balance de dióxido de carbono cero y reduce la cantidad de cenizas en comparación con los combustibles fósiles (Jasiczeck y otros, 2020).

La literatura revisada se enfoca en el proceso de elaboración de briquetas de biomasa, tomando en cuenta diferentes categorías. Dinesha y otros (2018), evalúan la materia prima empleada en la fabricación de briquetas y encuentra que ésta influye en sus características de combustión; mientras que, Espinoza y otros (2020) y Sapariya y otros (2016), se enfocan en la descripción de los tipos de residuos empleados: agrícolas, forestales, textiles y alimentarios. Asimismo, la mayor parte de artículos, estudian las tecnologías del proceso de fabricación, como



es el caso de Kaur y otros (2017) y Yusuf (2020), quienes destacan las de alta presión y de compactación, empleando máquinas de extrusión de tornillo, prensa hidráulica, y prensas de pistón. Por otro lado, se revisan los aglutinantes que afectan las propiedades físicas, químicas y de combustión de las briquetas, temática abordada por Zhang y otros (2018), Obuglade y otros (2019).

Como se detalló anteriormente, la evidencia se enfoca en tres puntos específicos que son necesarios para la elaboración de briquetas de biomasa, sin embargo, existen aspectos que no se detallan a profundidad. De acuerdo con Dinesha y otros (2018), las investigaciones deben centrarse en determinar las emisiones que generan las briquetas en el proceso de combustión y compararlas en función de sus orígenes, es decir, considerando las materias primas y los aglutinantes empleados. Por otra parte, Sapariya y otros (2016), indican que se debe llevar a cabo un estudio de campo para verificar la combustión y gasificación, así como elaborar análisis económicos y energéticos de los costos en que se incurren en la fabricación.

Debido a esta situación, la presente investigación, se basará en el análisis de las briquetas, revisando la composición de las mismas, lo que incluye las diferentes materias primas utilizadas, así como los aglutinantes que ayudan en el proceso de compactación de las briquetas, con el fin de identificar aquellas materias que generan briquetas de calidad. Asimismo, se evaluarán la manera en que los tipos de biomasa, influyen en la propiedades físicas y químicas de las briquetas, con el fin de generar información para la elección de la composición ideal.

La realización de la investigación se justifica desde el punto de vista teórico, debido a que, se revisarán las teorías existentes con respecto a la elaboración de briquetas de biomasa, sus características y tecnologías que se emplean para el proceso de compactación, lo cual servirá de sustento teórico para futuras investigaciones que deseen abordar temáticas similares. Por otro lado, desde un punto de vista práctico, el estudio servirá como aporte para que se conozcan

nuevas alternativas de energía renovable económicas y de fácil elaboración, debido a que no solo emplean tecnologías sofisticadas, sino también se pueden fabricar de manera manual. Asimismo, desde el punto de vista ambiental, la investigación informará sobre los beneficios del uso de briquetas para el medio ambiente, puesto que, ayudan a reducir la contaminación generada en el proceso de combustión, razón por la cual, se debe propagar su empleo en reemplazo de los combustibles fósiles.

Sobre la base de realidad problemática presentada se planteó el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación fue ¿Cuál es el estado de las briquetas elaboradas con diferentes tipos de biomasa?. Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes:

**PE1:** ¿Cuál es la influencia de los aglutinantes sobre la calidad de las briquetas?

**PE2:** ¿Cuáles son las tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas de biomasa?

**PE3:** ¿Cuáles son los tipos de biomasa usados y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas?

El objetivo general de la investigación es: Evaluar las briquetas elaboradas con diferentes tipos de biomasa. Mientras que, los objetivos específicos son:

**OE1:** Identificar la influencia de los aglutinantes sobre la calidad de las briquetas.

**OE2:** Analizar las tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas de biomasa.

**OE3:** Analizar los tipos de biomasa y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas

## II. MARCO TEÓRICO

En la revisión de antecedentes, se puede constatar que, existen pocas revisiones de literatura sobre el proceso de elaboración de briquetas y todo lo que ello implica. Las principales revisiones se enfocan en tres categorías: los tipos de materia prima o de biomasa que se emplean en el proceso, los tipos de aglutinantes y sus efectos en las propiedades de las briquetas y las diferentes tecnologías empleadas en la elaboración. Además, la mayoría de revisiones evalúa las propiedades físicas y químicas de las briquetas.

Espinoza y otros (2020), en su estudio “Agricultural, forestry, textile and food waste used in the manufacture of biomass briquettes: A review”, realizan una revisión de los diferentes tipos de biomasa que se pueden utilizar para producir energía renovable, centrándose en los residuos agrícolas, forestales, textiles y alimentarios. Además, se describen las características físicas y calóricas de estas materias primas. Los resultados muestran que, las fuentes para la elaboración de briquetas son abundantes, destacando las astillas de madera, cáscara de piñón, bagazo de caña de azúcar, aserrín de pino, serrín y viruta, pulpa de madera, papel, algodón, residuos de carbón vegetal, madera recuperada, entre otros. El estudio recomienda que, ante los cambios ambientales, las investigaciones futuras deben enfocarse en la utilización de residuos agrícolas, el desarrollo de nuevos negocios basados en residuos y la generación de energía por medios alternativos.

Yusuf y otros (2020), en su artículo “A review of technical and economic aspect of biomass briquetting”, revisaron aspectos técnicos y económicos de la fabricación de briquetas de biomasa. Se demostró que, los recursos de biomasa, el preprocesamiento de la materia prima, los parámetros del proceso de fabricación de briquetas, la tecnología de fabricación de briquetas y los parámetros de evaluación influyen en la calidad de las briquetas. El briquetado se puede realizar con una técnica de baja o alta presión. Sin embargo, la tecnología que utiliza alta

presión y temperatura de compactación es significativa para producir briquetas duraderas y de alta densidad energética. Actualmente, las máquinas disponibles para la fabricación de briquetas incluyen la prensa extrusora de tornillo, la prensa de rodillos y la prensa de pistón (mecánica o hidráulica).

Obugbade y otros (2019), en su artículo “Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: A recent review”, analizan el estado del arte de las briquetas como combustible y la influencia de las propiedades del aglutinante en las características de combustión, el contenido de energía, la durabilidad mecánica y la densidad de las briquetas. Se observa que, mediante el uso de aglutinantes mezclados con aditivos a base de fósforo como  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , se puede mejorar la velocidad de combustión de las briquetas de combustible y se pueden reducir al mínimo las emisiones contaminantes durante el proceso de combustión. Además, cuanto mayor sea la presión de compactación y la temperatura de procesamiento de los aglutinantes, mayor será la densidad y el contenido energético por unidad de volumen de las briquetas.

Dinesha y otros (2018), en su investigación “Biomass Briquettes as an alternative fuel: A comprehensive review”, realizan una revisión sobre los tipos de materia prima empleados en la elaboración de briquetas, así como de las tecnologías de fabricación y los parámetros del proceso. Se encontró que las características de combustión de las briquetas dependen del tipo de materia prima, de la densidad, el contenido de humedad, el porcentaje de aglutinante y el método utilizado para la fabricación de briquetas. La investigación concluyó que las briquetas de biomasa pueden satisfacer las demandas de energía para cocinar y calentar, especialmente en áreas rurales donde se dispone de abundante materia prima. Los autores recomiendan que los estudios se centren más en investigar las emisiones junto con la combustión de briquetas fabricadas de diferentes orígenes.

Zhang y otros (2018), en su artículo “Review of briquette binders and briquetting mechanism”, realizan una revisión de los aglutinantes empleados para las briquetas y los mecanismos de fabricación de las mismas. Se analizaron tres

tipos de aglutinantes: inorgánico, orgánico y compuesto. Los aglutinantes inorgánicos son recursos abundantes, de bajo costo, de excelente capacidad térmica y buena hidrofilia. Sin embargo, producen una cantidad significativa de cenizas. Los aglutinantes orgánicos tienen buena unión, buen rendimiento de combustión y bajo contenido de cenizas. Pero, tienen una resistencia mecánica y estabilidad térmica bajas y su precio es alto. Por último, los aglutinantes compuestos, pueden reducir la cantidad suministrada de aglutinante inorgánico, reducir el costo del aglutinante orgánico, mejorar la calidad de las briquetas y obtener un mejor rendimiento.

Kaur y otros (2017) en su artículo “Densification of biomass by briquetting: a review”, describen el proceso de densificación para la obtención de las briquetas, para lo cual, analizan la calidad de las materias primas, los parámetros de calidad de las briquetas y las propiedades de combustión y químicas. Asimismo, especifican las tecnologías empleadas en la fabricación. Los resultados muestran que existen varias tecnologías para fabricar las briquetas de biomasa, como extrusión de tornillo, prensa hidráulica, prensas de pistón. Para poder popularizar estas tecnologías, se han desarrollado nuevas máquinas y se han optimizado diferentes parámetros como temperatura de compresión, presión y disponibilidad de materia prima. Los autores concluyen que el empleo de otras fuentes de energía es necesario, por ello el estudio recomienda que se aprovechen al máximo las briquetas de biomasa para ahorrar combustible para el futuro y para la producción de energía sostenible.

Sapariya y otros (2016), en su artículo “A review on Briquette (Biocal) from crops residual as a feasible energy conversion technology”, revisan los residuos agrícolas que se pueden emplear para el proceso de Briqueteado. Se establece que los más empleados son el bagazo, nuez de tierra, el serrín, la hierba en rama de algodón y la cáscara de arroz, que comprende la biomasa principal en forma de biomasa cruda, biomasa hidrolizada y biomasa carbonizada. Se consideró que los residuos agrícolas con biomasa carbonizada eran adecuados para el combustible briquetado, en comparación con la biomasa cruda e hidrolizada. Asimismo, se

elaboraron briquetas de diferentes composiciones y se sometieron a pruebas para determinar su efectividad como combustible, encontrando un mayor valor calorífico en las briquetas elaboradas con bagazo.

Con respecto a las teorías relacionadas, la biomasa, se define como cualquier materia orgánica, es decir, material biológico, disponible de forma renovable. Incluye materias primas derivadas de animales o plantas, como madera y cultivos agrícolas, y desechos orgánicos de fuentes municipales e industriales (FAO, 2018). Por tanto, la biomasa es el conjunto de materia orgánica no fósil, que incluye diferentes tipos de residuos. La principal diferencia entre la biomasa y los combustibles fósiles, es que éstos últimos, solo se pueden transformar en energía reutilizable después de miles de años, mientras que la energía de la biomasa es renovable y garantiza su utilización en el tiempo (Voicea y otros, 2016).

La biomasa tiene la facilidad de convertirse en energía renovable, ya que, su contenido de energía procede de la energía solar fijada. Existen diferentes tipos de biomasa: la biomasa natural, la cual se produce sin la intervención del hombre; la biomasa residual seca, que se produce por residuos de las actividades agrícolas, forestales, madereras, agroalimentarias; la biomasa residual húmeda, procede de los vertederos que se forman por aguas residuales urbanas o industriales y de los residuos ganaderos (EPEC, 2016).

La evaluación de la biomasa analiza la producción, disponibilidad y accesibilidad de materia prima de biomasa para la producción de energía. La evaluación considera todos los usos de la materia prima potencial, como su uso para mantener la fertilidad del suelo o como alimento para el ganado antes de calcular la cantidad de biomasa disponible para la producción de bioenergía. Esto es fundamental para evitar cualquier impacto adverso que la producción de bioenergía pueda tener sobre la sostenibilidad agrícola (FAO, 2018).

La biomasa en su forma original es difícil de utilizar como combustible en aplicaciones a gran escala, porque es voluminosa, húmeda y dispersa. Por ello, las tecnologías de compactación, se utilizan para convertirla en combustible. Estas

tecnologías también se conocen con el nombre de briquetado, peletizado, granulado, moldeado y envasado (Voicea y otros, 2016). La técnica de briquetado permite la conversión de los residuos de biomasa, a través de la compactación, en bloques de forma uniforme, denominados briquetas (WFC, 2015).

Una briqueta es un sólido que se produce mediante el proceso de forjado y presurización, y que genera una pequeña cantidad de humo en el proceso de combustión (Rafsanjani, Sarwono y Noriyanti, 2012). Las briquetas son un bloque comprimido o densificado de materiales de desechos orgánicos que se utilizan en la cocina y otras actividades de carácter industrial, y se pueden fabricar de diversas formas y tamaños (Oladejic, 2015).

Las briquetas, se procesan a través de un sistema de prensado adhesivo, de modo que se pueda obtener una forma compacta para su uso. Las briquetas tienen una mayor resistencia física y mejores propiedades de combustión que los residuos iniciales. Además, presentan una mayor energía, se calientan más rápido y con menos humo en comparación con el carbón y la leña, por lo cual, es una opción eficiente para las actividades de cocina (WFC, 2015).

Un factor importante en la producción de briquetas es prestar atención a la composición del material, ya que, estos factores afectarán sus propiedades, como la absorción del contenido de agua, el contenido de cenizas y la calidad del valor calorífico resultante. Este último, se refiere al contenido energético que posee el combustible, por tanto, el valor calorífico depende del contenido de agua, cenizas y de carbono fijo (Fikri y Sartika, 2018).

Las briquetas presentan varias ventajas. Una de ellas, es que facilitan la manipulación, el almacenamiento y el transporte en comparación con los residuos y desechos agrícolas crudos y también resuelven los problemas de eliminación y contaminación que suelen crear los residuos de biomasa. Además, su fabricación, ayuda a la utilización eficiente de los desechos de biomasa y evita la contaminación por polvo asociada con la combustión directa de biomasa suelta. La utilización de

las briquetas ayuda a reducir la deforestación al proporcionar un sustituto de la leña con residuos de biomasa (Bandara y Kowshayini, 2017).

Las tecnologías de fabricación de briquetas se realizan en diversos niveles de presión. Primero, se puede mencionar el proceso de compactación de alta presión, que es empleado para producciones a gran escala. Este requiere de maquinaria especial, como la prensa de pistón y las máquinas de extrusión de tornillo. Se resalta que la máquina de extrusión de tornillo con troquel y punzón funciona mejor que la prensa de pistón, ya que produce briquetas con un contenido de humedad inferior al 10%, la producción de la máquina es continua, las briquetas son más densas y resistentes y más adecuadas para usar en calderas, hornos y gasificadores (Bandara y Kowshayini, 2017).

Como segunda tecnología de fabricación, se encuentra la compactación de media presión, que emplea un dispositivo de calentamiento y, por último, la compactación de baja presión, que realiza el proceso por medio de un aglutinante (Oladejic, 2015). El agente aglutinante permite producir una briqueta compacta, siempre que tenga una buena fuerza de cohesión cuando se mezcla con semicocas o carbón. Los aglutinantes son materias primas que cumplen con las condiciones de ser inflamable, no humeante, disponible en grandes cantidades, tener un precio más económico, no emitir olores, ni ser tóxico. Los aglutinantes más empleados son la caña de azúcar y el almidón (Anatasya y Ketut, 2019).

Los aglutinantes se clasifican de acuerdo a diversos criterios. El mecanismo de unión es uno de los criterios, puesto que, pueden ser adheridos mediante fuerzas moleculares, fuerzas electrostáticas, fuerzas magnéticas o enlaces químicos libres; por el estado físico, existen aglutinantes líquidos, semisólidos o sólidos; de acuerdo con la función que realizan pueden ser aglutinantes matriz o secundarios; y, de acuerdo al tipo de químicos empleados, pueden ser orgánicos, inorgánicos o compuestos (Young, 2015).



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que se hará una revisión de la literatura sobre la elaboración de briquetas de biomasa, revisando las materias primas, tecnologías, tipos de aglutinantes, entre otros; aportando un análisis del conocimiento ya existente. De acuerdo con Lozada (2014), las investigaciones aplicadas, constan de un proceso para transformar la teoría, proveniente de investigaciones básicas con el fin solucionar los problemas relacionados con los procesos de producción y consumo de las actividades.

El estudio tiene un diseño cualitativo, de tipo descriptivo, puesto que, se revisarán artículos científicos que hablen sobre la elaboración de briquetas de diferentes tipos de biomasa, identificando y describiendo las materias primas, aglutinantes, tecnología y propiedades físicas y químicas. De acuerdo con Arias y otros (2016), la investigación descriptiva se enfoca en caracterizar fenómenos de estudio.

#### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

**Tabla 1.** Matriz de categorización de variables

N°	Categorías	Sub-Categorías	Criterios
1	Tipos de aglutinantes en la calidad de las briquetas	Aglutinantes orgánicos Aglutinantes inorgánicos	Densidad Resistencia Durabilidad
2	Tecnologías empleadas	Máquinas briqueteadoras Máquinas briqueteadoras inusuales	Extrusión de tornillo, prensa hidráulica, Prensas de pistón Prensa de molde de bloques vibratorios, Prensa uniaxial
3	Tipos de biomasa y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas	Residuos agrícolas y forestales Residuos urbanos e industriales	Densidad Resistencia Humedad Carbón fijo Contenido de cenizas Materia volátil
			Valor calorífico

**Tabla 2.** Matriz apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub-Categorías	Unidad de análisis
Identificar la influencia de los aglutinantes sobre la calidad de las briquetas	¿Cuál es la influencia de los aglutinantes sobre la calidad de las briquetas?	Tipos de aglutinantes en la calidad de briquetas	Aglutinantes orgánicos	Son y otros (2021) Guo y otros (2021) Lohmeier y otros (2020) Rejdak y otros (2019) Arianzola y otros (2019) Mustafin y otros (2019) Hening y otros (2018) Zanella y otros (2017) Gill y Dogra (2017) Boroswki (2017) Handra y Hafni (2017) Muazu y Stegemann (2017) Nath y otros (2017) Sen (2016)
			Aglutinantes inorgánicos	Ullah y otros (2021) Bembenek (2021) Jasiczek y Kwasniewski (2020) Saneewongnaayuttaya y otros (2019) Yusuf y otros (2020) FAO (2018) Loginov (2018) Orisaleye (2018) Khudyakov (2018) Miak (2017) Kuye (2017) Kumar y otros (2015)
Analizar las tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas de biomasa.	¿Cuáles son las tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas de biomasa?	Tecnologías empleadas	Máquinas briquetadoras usuales  Máquinas briquetadoras inusuales	Ullah y otros (2021) Bembenek (2021) Jasiczek y Kwasniewski (2020) Saneewongnaayuttaya y otros (2019) Yusuf y otros (2020) FAO (2018) Loginov (2018) Orisaleye (2018) Khudyakov (2018) Miak (2017) Kuye (2017) Kumar y otros (2015)

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub-Categorías	Unidad de análisis
¿Cuáles son los tipos de biomasa usados y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas?	Analizar los tipos de biomasa y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas	Tipos de biomasa y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas	Residuos agrícolas y forestales  Residuos urbanos e industriales	Shankar (2021) Bayú y otros (2020) Chungcharoen y Srisang (2020) Ajimotokan y otros (2019) Kimutai y Kimutai (2019) Lubwama y otros (2019) Okot y otros (2019) Himbane y otros (2018) Olugbemi (2018) Ikelle y otros (2017) Onukak y otros (2017) Nwabue y otros (2017) Romallosa y Kraft (2017) Yank y otros (2016) Boasiako y Acheampong (2016)

### 3.3. Escenario de estudio

En este caso, el escenario de estudio corresponde al conocimiento que se ha generado sobre la elaboración de briquetas de biomasa como alternativa de energía renovable. Para ello, se han recopilado artículos de diferentes países, que incluyen tanto zonas urbanas como rurales, analizando de manera detallada los diferentes tipos de biomasa utilizados en para la elaboración de briquetas, los tipos de aglutinantes empleados para la compactación, las tecnologías que se utilizaron y por último, las propiedades de combustión de las briquetas, de acuerdo al tipo de biomasa empleada. Debido a que el estudio se basa en la revisión de literatura, no tiene un escenario específico de búsqueda.

### 3.4. Participantes

Para la investigación, se emplearon artículos de revistas indexadas, utilizando los siguientes buscadores, Proquest, Ebsco, Elsevier, Scielo y Springer, colocando como palabras clave “Briquettes”, “Briquettes Making”, “Briquettes Production” y algunas adicionales que se presentan en la tabla 3. Los artículos empleados corresponden a estudios experimentales que tienen hasta 7 años de antigüedad. Se emplearon un total de 41 artículos y 1 informe de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).

**Tabla 3.** Resumen de la búsqueda

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Idioma
Artículos	Influencia de los aglutinantes sobre la calidad de las briquetas	14	“Binder production briquettes” “Binder on the quality of briquettes”	Inglés
Artículos	Análisis de las tecnologías de producción de briquetas	12	“Briquette Production Technologies”	Inglés

<b>Tipo de documento</b>	<b>Documentos referidos a</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Palabras clave de búsqueda</b>	<b>Idioma</b>
Informe	Tecnologías en la producción de briquetas	1	“Technology briquettes”	Inglés
Artículos	Caracterización de las propiedades de las briquetas	15	“Briquette properties” “Characterization of briquettes” “Briquette Production” “Agricultural waste Briquettes” “Urban waste briquettes”	Inglés

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección**

Para el desarrollo de la investigación, se empleó como técnica la revisión documental, que se caracteriza por recolectar información que será analizada de manera crítica, con la finalidad de resumir de manera práctica toda la evidencia existente sobre una temática específica (Moreno y otros, 2018).

Del mismo modo, se empleó como instrumento una ficha de recolección de documentos, que permitió establecer las categorías, sub-categorías y principales resultados de los artículos revisados, lo que facilitó la organización y análisis de los resultados.

### **3.6. Procedimientos**

Como primer paso, se realizó una revisión inicial de artículos que hayan desarrollado una revisión sistemática sobre las briquetas, incluyendo como palabra clave “Briquettes review”, con el fin de identificar los principales vacíos que aún requerían ser profundizados. Luego, se recurrió a una segunda revisión de artículos de manera más detallada, incluyendo los criterios de búsqueda en las bibliotecas y plataformas virtuales, lo que permitió establecer las categorías y sub-categorías a estudiar. Para la selección de los artículos, se incluyeron, aquellos que, brindaron

información sobre alguno de los objetivos de investigación y que tuvieron como máximo 7 años de antigüedad.

### **3.7. Rigor científico**

La siguiente investigación cumple con los criterios de credibilidad, puesto que se ha realizado una revisión y análisis objetivo de los datos obtenidos; autenticidad, debido a que no se ha realizado la copia total o parcial de los estudios encontrados, sino que se ha partido de la revisión para enfocar los resultados desde la perspectiva de los autores del presente estudio; y, la triangulación teórica, puesto que se analizan las categorías seleccionadas, desde diferentes perspectivas, de acuerdo a la adaptada por el autor de cada artículos seleccionado.

### **3.8. Método de análisis de información**

Para la revisión de los artículos de investigación, se recurrió al uso de una ficha de recolección de información que permitió establecer los principales resultados a los que llegaron los estudios y poder compararlos con otras investigaciones. Del mismo modo, se recurrió a la agrupación de los estudios encontrados por categorías y sub-categorías para facilitar la comprensión y poder dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación.

### **3.9. Aspectos éticos**

La presente investigación se basa en los criterios de autonomía y justicia, establecidos por el Vicerrectorado de investigación de la Universidad César Vallejo. Por otro lado, se respetan los derechos de autor, citando adecuadamente los estudios analizados, según las normas APA. Del mismo modo, se cumple con los principios éticos al tomar los datos reales que plantearon las investigaciones revisadas, sin necesidad de alterarlos para conveniencia propia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo, se detallan los resultados de los estudios más relevantes sobre la elaboración de briquetas de biomasa, destacando la revisión de los tipos de aglutinantes y su influencia en la calidad de las briquetas, las tecnologías y los diversos tipos de biomasa y su influencia en las propiedades físicas y químicas de las briquetas. Por otro lado, se presenta la discusión con los resultados de investigaciones similares.

### **Tipos de aglutinantes y calidad de las briquetas**

Existen diferentes aglutinantes que pueden ser empleados para la elaboración de briquetas y dependiendo del tipo y el porcentaje en que se empleen, pueden generar efectos diferentes sobre las briquetas. Existen varios estudios que emplean aglutinantes orgánicos, como Arianzola y otros (2019), quienes, utilizaron tres aglutinantes: almidón de yuca, almidón de maíz y gelatina, en diferentes concentraciones. Las pruebas mostraron que, el contenido de humedad osciló entre 4.43 y 7.62%, la densidad se encontró en el rango de 729 a 987 Kg/m<sup>3</sup> y la resistencia a la compresión osciló entre 1.02 y 8.32 MPa, siendo los mayores valores para el aglutinante de almidón de yuca.

Asimismo, Sen y otros (2016), emplearon como aglutinantes melaza, gel de almidón, pulpa de yuca y residuos de soja. La densidad de las briquetas más alta fue de 0,91 g cm<sup>-3</sup>, resistencia a la compresión de 14,94 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia al impacto de 416,7 y valores calorífico de 24,367 KJ/ kg, obtenidos, con la melaza y gel de almidón. Borowski (2017), encuentra que, los dos aglutinantes empleados: almidón de trigo nativo y de trigo modificado presentan propiedades adecuadas para las briquetas, alcanzado una densidad de 700 Kg/m<sup>3</sup>, una resistencia a la compresión de 24.5 MPa y una resistencia al impacto del 98.8%. Por otra parte, Zanella y otros (2017), emplearon tres tipos de aglutinantes para elaborar briquetas de carbón vegetal: maicena industrial, pectina con alto grado de esterificación y pectina con bajo grado de esterificación. Del análisis, se determinó que el

aglutinante con mejores condiciones es la maicena industrial, presentando una resistencia a la compresión de 4.093 MPa y baja friabilidad.



**Tabla 4.** Tipos de aglutinantes en la calidad de las briquetas

Tipos de aglutinantes		Calidad de las briquetas		Valor calorífico	Autor
		Densidad	Resistencia a la compresión		
Aglutinantes orgánicos	Almidón de yuca, almidón de maíz y gelatina	729 - 987 Kg/m <sup>3</sup>	Valores entre 1,02 y 8,32 MPa	No especifica	Arianzola y otros (2019)
	Almidón de trigo nativo y de trigo modificado	700 Kg/m <sup>3</sup>	- Resistencia a la compresión: 24.5 MPa - Resistencia al impacto: 98.8%.	No especifica	Borowski (2017)
	Almidón	698 - 858 Kg/m <sup>3</sup>	102-155 KPa.	18 Mj /Kg	Muazu y Stegemann (2017)
	Biosólidos tratados mejorados	759 - 859 Kg/m <sup>3</sup>	70-159 KPa.	6 -19 Mj /Kg	
	Microalgas	809 - 826 Kg/m <sup>3</sup>	137 y 175 KPa.	15-23 Mj /Kg	
	Maicena industrial, pectina con alto grado de esterificación con bajo grado de esterificación	No especifica	4.093 MPa	No especifica	Zanella y otros (2017)
	Savia de pino y la harina de almidón	1000 kg <sup>-3</sup>	No especifica	Savia: 6331,7 cal/g Harina: 2295,7 cal/g	Handra y Hafni (2017)
	Melaza, gel de almidón, pulpa de yuca y residuos de soja	0,91 gcm <sup>-3</sup>	- Resistencia a la compresión: 4,94 kg/cm <sup>2</sup>	21,670 - 24,367 Kj/kg	Sen y otros (2016)

			- Resistencia al impacto: 416,7		
Tipos de aglutinantes		Calidad de las briquetas		Valor calorífico	Autor
		Densidad	Resistencia a la compresión		
Aglutinantes orgánicos	Almidón	3.52 g/cm <sup>-3</sup>	42.1 MPa	No especifica	Lohmeier (2020)
	Celulosa	3.36 g/cm <sup>-3</sup>	41.4 MPa	No especifica	
Aglutinantes inorgánicos	Polietileno de baja densidad y polipropileno	1.02 y 1.18 Kg/L	Resistencia al aire libre: 100%	22.33 GJ/m <sup>3</sup>	Son y otros (2021)
	Emulsión bituminosa (material compuesto)	No especifica	- Resistencia a la compresión: 60-70 kg/cm <sup>2</sup> - Resistencia al impacto: 96% - 98%.	No especifica	Mustafin y otros (2019)
	Alcohol polivinílico (PVA)	No especifica	Resistencia mecánica: Aumentó en 7%	20,7 MK / kg	Hening y otros (2018)
	Cal en combinación con cemento Portland	2.24 g/cc	7.2 MPa	No especifica	Nath y otros (2017)
	Portlandita en combinación con cemento Portland	2.56 g/cc	7.6 MPa	No especifica	
	Bentonita	3.68 g/cm <sup>-3</sup>	41.5 MPa	No especifica	Lohmeier (2020)

Por otro lado, se destacan los efectos positivos de algunos aglutinantes que logran mejores resultados en comparación con el almidón. Handra y Hafni (2017) utilizaron como aglutinantes la savia de pino y la harina de almidón, encontrando que el valor calorífico de las briquetas elaboradas con el primer aglutinante está por encima de la harina de almidón, obteniendo un valor de 6331,7 cal/g y 2295,7 cal / g, respectivamente. Asimismo, Muazu y Stegemann (2017), evaluaron las características de las briquetas que usaron tres tipos de aglutinantes como el almidón, los biosólidos tratados mejorados y las microalgas. Encontraron que las características de las briquetas mejoran al emplear las microalgas, obteniendo una densidad que va de 809 a 826 Kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de entre 137 y 175 kPa.

Con respecto a los aglutinantes inorgánicos, existen varios estudios que los consideran, para el proceso de compactación de briquetas. Mustafin y otros (2019), utilizaron la emulsión bituminosa (material compuesto) como aglutinante para briquetas de carbón fino, obteniendo una resistencia a la compresión entre 60 a 70 kg / cm<sup>2</sup> y resistencia al impacto que osciló entre 96% y 98%. El uso de termoplásticos también es una opción innovadora como aglutinante, en el caso de Son y otros (2021), utilizaron el polietileno de baja densidad y polipropileno, como aglutinantes para elaborar briquetas de aserrín. El uso de plásticos, permitió una mejora de la resistencia al aire libre del 100%, un aumento de la humedad en 8% y valores caloríficos superiores a 22.33 GJ/m<sup>3</sup>, comparables con el carbón.

Por otro lado, Nath y otros (2017), utilizaron dos tipos de aglutinantes: cal y portlandita, en combinación con el cemento Portland, obteniendo que la adición del cal, mejora las propiedades físicas, disminuyendo la porosidad aparente y la humedad; sin embargo, no contribuye con la resistencia a la compresión, la cual mejora utilizando la portlandita, llegando a 7.6 MPa. Además, Hening y otros (2018), elaboraron briquetas de carbón fino, utilizando como aglutinante, el alcohol polivinílico (PVA). Los ensayos de resistencia mecánica, arrojaron que ésta incremento en 7%, que el valor calorífico fue de 20,7 MK / kg, y el contenido de cenizas del 26%, las cuales no se vieron afectados con el agregado de PVA. En la

misma línea, Guo y otros (2021), emplea también el alcohol polivinílico como aglutinante, en una proporción del 0.5%, demostrando la mejora sobre la resistencia mecánica de las briquetas.

**Tabla 5.** Comparación de aglutinantes orgánicos e inorgánicos

Tipos de aglutinantes		Calidad de las briquetas		
		Resistencia mecánica	Durabilidad	Densidad
Orgánicos	Almidón de trigo	235.8 N	94.4%	937 kg/m <sup>3</sup>
		350 N	95.4%	961 kg/m <sup>3</sup>
	Almidón de papa	369.7 N	96%	1006 kg/m <sup>3</sup>
	Carbohidratos simples	72.9 N	78.1%	924 kg/m <sup>3</sup>
	Azúcares	59.2 N	60.5%	896 kg/m <sup>3</sup>
	Derivados de celulosa	217.7 N	93.9%	883 kg/m <sup>3</sup>
	Bases de proteína	249.4 N 114.6 N	84.5% 78.7%	926 kg/m <sup>3</sup> 877 kg/m <sup>3</sup>
Inorgánicos	Cal y óxido de calcio (CaO)	105.6 N	59.3%	976 kg/m <sup>3</sup>
		72.39 N	51.8%	906 kg/m <sup>3</sup>
	Bentonita	81.10 N	56.4%	898 kg/m <sup>3</sup>
	Combinación de Cemento, calcio y aluminio	68.1 N	32.6%	922 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Adaptado de Rejdak y otros (2019)

Asimismo, existen estudios que comparan tanto aglutinantes orgánicos como inorgánicos. Lohmeier y otros (2020), emplearon dos aglutinantes orgánicos (celulosa y almidón) y la bentonita como inorgánico. Se encontró que, la resistencia a la compresión del aglutinante de celulosa tiende a ser menor que con el almidón y la bentonita, que logran más de 35 MPa; del mismo modo, la bentonita presenta una densidad de  $3,6 \text{ g cm}^{-3}$ , mayor a las de los otros aglutinantes. Mientras que, Rejdak y otros (2019), tal como se muestra en la tabla 6, empleó almidón de trigo, de papa, carbohidratos, derivados de la celulosa, base de proteína y polímeros sintéticos como orgánicos; mientras que en el grupo de inorgánicos, empleó la cal, cal hidratada, bentonita, aluminio y cemento. Se determinó que el mejor aglutinante fue el almidón a base de papa, pues obtuvo valores superiores a los demás, con una resistencia a la compresión de 369.7 N; una durabilidad de 96%, densidad de  $10,006 \text{ kg/m}^3$  y densidad aparente de  $507 \text{ kg/m}^3$ .

De la revisión realizada se deduce que, dentro de los aglutinantes orgánicos, el almidón es uno de los más empleados, obteniendo resultados favorables sobre la densidad, resistencia a la compresión y durabilidad de las briquetas. Sin embargo, existen otros aglutinantes con las microalgas y la savia de pino que, en comparación con el almidón, producen mejores resultados sobre la calidad y propiedades mecánicas de las briquetas. Estos resultados son diferentes a los de Zhang y otros (2018), quienes encuentran, que los aglutinantes compuestos (combinación de orgánicos e inorgánicos), presentan mejores características, impactando sobre la calidad de la briqueta, asimismo, reducen la contaminación y tienen beneficios económicos y ambientales al mismo tiempo.

Por otro lado, dentro del uso de aglutinantes inorgánicos se destaca la bentonita y el alcohol polivinílico, los cuales pueden generar mayores niveles de densidad y resistencia que otros. Además, de la comparación de ambos grupos, se puede deducir que tanto los orgánicos como inorgánicos tienen efectos positivos sobre las briquetas que van a depender de la concentración que se utilice y de la presión de compactación. La concentración ideal de aglutinantes, dará como resultado mayor calidad de las briquetas. Estos resultados son similares a los

encontrados por Olugbade y otros (2019), quien realiza una revisión de los aglutinantes y sus efectos en la combustión, deduciendo que, mientras mayor sea la presión de compactación y la temperatura de procesamiento de los aglutinantes, mayor será la densidad y el contenido energético por unidad de volumen de las briquetas.

### **Tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas**

Existen diferentes tecnologías que se pueden utilizar en la fabricación de briquetas, que van desde las tradicionales, empleadas por lo general en ámbitos rurales, hasta las realizadas por máquinas briquetadoras. Para el caso de las primeras, un informe realizado por la FAO (2018), analiza las tecnologías nuevas y tradicionales para la elaboración de briquetas en Malawi, obteniendo como resultado, que el uso de un horno de acero o de una máquina briquetadora en forma de colmena, representan una mejor opción para una producción más eficiente, ya que, reducen el consumo de biomasa. En la misma línea, Jasiczek y Kwasniewski (2020), analizaron diversas opciones de tecnologías, obteniendo como mejor opción el uso de las prensas briquetadoras en lugar de métodos tradicionales, ya que, aumentaron la eficiencia de producción y redujeron los costos unitarios de producción.

Por otra parte, en la tabla 7, se muestra un resumen de las tecnologías más utilizadas para elaborar briquetas. Kumar y otros (2015), elaboraron briquetas, empleando como tecnología de producción, la extrusión de tornillo, que es el proceso de desechos de tornillos de extrusión (en su caso: paja, cáscaras de girasol, trigo sarraceno) o desechos de madera finamente triturados, empleada a un nivel de alta presión. Asimismo, Ullah y otros (2021) y Saneewongnaayuttaya y otros (2020), emplearon esta tecnología. En el primer caso, utilizaron diferentes temperaturas (225, 250, 275, 300°C) para elaborar briquetas de residuos forestales, encontrando que la temperatura influye en la resistencia de las briquetas; mientras que, en el segundo, elaboraron briquetas de cáscara de arroz, con temperatura que oscilaron entre 300 y 400 grados Celsius y una longitud de

tornillo de 45 cm, determinando que el aumento de la longitud del tornillo mejoró el rendimiento de la compresión y que el aumento de temperatura mejoró la densidad de las briquetas.

**Tabla 6.** Tecnologías empleadas en la elaboración de briquetas

Tecnologías	Resultados		Autor
	Temperatura	Presión	
Extrusión de tornillo	225 °C 250°C 275°C 300°C	Alta presión	Ullah y otros (2021)
	300°C 400°C	Presión media	Saneewongnaayuttaya y otros (2020)
	No especifica	Alta presión	Kumar y otros (2015)
Prensa de pistón	28°C	Menor a 7MPa	Yusuf y otros (2020)
	33.5°C	Alta presión	Miak (2017)
	95°C	120 bar	Kuye (2017)
Prensa de rodillo	150°C	2.6 MPa	Loginov (2018)
	440 °C - 1000°C	363 kN	Khudyakov (2017)
	27°C 24.2°C	65 MPa 30 MPa	Bembenek (2021)
Prensa uniaxial	90 °C y 120 °C	9 -12 y 15 MPa	Orisaleye y otros (2018)
Prensa de moldes vibratorios	26.7 °C	36 MPa	Efomah y Gbabo (2015)

Otra de las tecnologías utilizadas son las prensas de pistón, que pueden ser mecánicas o hidráulicas. Miak (2017), elaboró briquetas de cáscara de arroz, empleando una prensa de pistón, obteniendo un alto valor calorífico (14,74 MJ / Kg). Por su parte, Kuye (2017), emplea una prensa de pistón hidráulica para producir briquetas a una presión de compactación de 120 bar utilizando aserrín compuesto. Se encontró que tanto la densidad como el contenido de cenizas de las briquetas producidas dependían del tamaño de las partículas de aserrín. Asimismo, Yusuf y otros<sup>a</sup> (2020), empleó esta tecnología hidráulica, a una presión de compactación baja (menor a 7MPa) y una temperatura de 28 °C, obteniendo briquetas con un buen nivel de resistencia.

La prensa de rodillos, es otra de las briqueteadoras más utilizadas. Tal es el caso de Bembenek (2021), quien realiza briquetas de grano fino aplicando diferentes temperaturas y tipos de presión, obteniendo que, las presiones generadas en se correlacionan con las temperaturas obtenidas en la superficie de la briketa, sobre todo en la parte central. Asimismo, Loginov (2018), encuentra que, la utilización de una prensa de rodillos, a una presión máxima de 2.6 MPa mejora la densidad y resistencia a la caída de las briquetas, aunque no se presentan uniformidad en la sección transversal de la misma. Por otra parte, Khudyakov (2017), emplea una prensa de rodillos, debido a que permite la elaboración de briquetas de mejor calidad en comparación con una de extrusión de tornillo, obteniendo briquetas de coalín con una mejor resistencia a la rotura durante el tratamiento térmico.

Otro tipo de máquinas briquetadoras, son las usadas por Efomah y Gbabo (2015), quienes, analizaron las briquetas elaboradas por una briquetadora de molde de bloques vibratorios, obteniendo que las briquetas tienen un alto porcentaje de materia volátil y una baja cantidad de cenizas, lo que, los convierte en una buena alternativa de combustibles. Por otro lado, Orisaley y otros (2018), utilizaron una prensa de compactación uniaxial, para la elaboración de briquetas de mazorca de maíz, utilizando diferentes medidas de presión y de temperatura, determinando que estos parámetros influyen en la densidad de las briquetas.



De la revisión de literatura revisada, se puede observar que las tecnologías de producción de las briquetas más empleadas son las de extrusión por tornillo, el uso de la prensa hidráulica y la prensa por pistón. Estos resultados son similares a los de Yusuf y otros (2020) y Kaur y otros (2017), quienes, en su revisión, encontraron que las máquinas disponibles para la fabricación de briquetas incluyen la prensa extrusora de tornillo, la prensa de rodillos y la prensa de pistón (mecánica o hidráulica) y que la metodología seleccionada influye en la calidad de las briquetas. En la misma línea, Dinesha y otros (2018), encontraron, que las características de combustión de las briquetas dependen del tipo de materia prima, del porcentaje de aglutinante y el método utilizado para la fabricación de briquetas, tomando como método más utilizado la extrusión por tornillo.

Asimismo, se resalta que, el uso de prensas de rodillo, no suele ser eficiente para en la resistencia de las briquetas. Por otro lado, debido a la necesidad de mejorar las propiedades y características de las briquetas se están optando por el uso de otras máquinas briquetadoras, como la de colmena, la briquetadora de molde de bloques vibratorios y la prensa de compactación uniaxial.

## Tipos de biomasa y su influencia en las propiedades de las briquetas

**Tabla 7.** Propiedades físicas y químicas de las briquetas, según tipo de biomasa

Tipos de biomasa		Propiedades físicas y químicas							Autor
		Densidad	Resistencia	Humedad	Carbón fijo	Contenido de cenizas	Materia volátil	Valor calórico	
Residuos agrícolas y forestales	Cáscara de anacarado y nueces de areca	No especifica	No especifica	10%	17.23 - 20.62%	2.4-5.8%	70-75%	18-21 MJ/kg	Chungcharoen y Srisang (2020)
	Carbón vegetal	No especifica	No especifica	3%	50%	5%	42%	24,9 MJ/kg	Ajimotokan y otros (2019)
	Aserrín de pino	No especifica	No especifica	6,8%	15.2%	0.3%	77.7%	19,7 /kg	
	Cáscaras de anacarado	No especifica	70 - 80 Kg/cm <sup>2</sup>	5.33%	70.04%	5.33%	5.2%	30,5 MJ/kg	Kimutai y Kimutai (2019)
	Cáscaras de arroz, café y de cacahuete	430 kg / m <sup>3</sup> y 580 kg / m <sup>3</sup> .	86%	13.72%	35.59%	15.87%	34.82%	22 MJ/kg	Lubwama y otros (2019)
	Mazorcas de maíz y paja de frijoles	1000 kg / m <sup>3</sup> 1400 kg / m <sup>3</sup>	100 MPa - 200 MPa	No especifica	16.4% 24.1%	3% 6.8%	80.6% 69.1%	18.9 MJ/kg 17.6 MJ/kg	Okot y otros (2019)
	Cáscara de maní, anacarado y tallos de mijo	543 kg / m <sup>3</sup> 765 kg / m <sup>3</sup> 579 kg / m <sup>3</sup>	0,34 MPa 0,88 MPa 1,66 MPa	4.31% 5.43% 8.00%	56.13% 62.89% 58.74%	35,68% 17,98 % 19,29%.	8.19% 19.13% 21.975	19.49 MJ/kg 26.52 MJ/kg 22.22 MJ/kg	Himbane y otros (2018)
	Carbón	No especifica	No especifica	3.25%	9.3%	10.12%	20.12%	29573.13 kJ/kg	Ikelle y otros (2017)
	Tallos de yuca	No especifica	No especifica	23.46%	25.34%	5.48%	45.72%	25834 kJ/kg	

	Biocarbón	No específica	10,78 N/mm <sup>3</sup>	3.36%	41.36%	25.13%	30.15%	25898.18 kJ/kg	
Tipos de biomasa		Propiedades físicas y químicas							Autor
		Densidad	Resistencia	Humedad	Carbón fijo	Cantidad de cenizas	Materia volátil	Valor calórico	
Residuos agrícolas y forestales	Residuos de madera	0.53 g/cm <sup>3</sup> 0.56 g/cm <sup>3</sup>	121 MPa 305 MPa	12.94% 12.05%	No específica	No específica	No específica	17,75kJ/kg <sup>-1</sup> 52,81 kJ/kg <sup>-1</sup>	Boasiako y Acheampong (2016)
	Cáscara de arroz y salvado	471.3 kg/m <sup>3</sup>	2.54 kN	4.64% 7.42%	No específica	No específica	No específica	16.01 kJ/kg <sup>-1</sup> 16.45 kJ/kg <sup>-1</sup>	Yank y otros (2016)
Residuos urbanos e industriales	Desechos sólidos urbanos	25 kg/m <sup>3</sup> 50 kg/m <sup>3</sup>	No específica	10% 25%	No específica	11.9% 14.84%	78%	19 Mj/kg 21 Mj/kg	Shankar y otros (2021)
	Residuos urbanos degradables	157.3 kg /m <sup>3</sup>	No específica	18.15%	10.83%	4.07%	66.95%	18.5 MJ/kg	Bayú y otros (2020)
	Residuos vegetales de mercado	0,79 g/cm <sup>3</sup> 0,96 g/cm <sup>3</sup>	No específica	3.03 a 8.47%	No específica	1.2 g /100g	No específica	322 Kj/kg	Olugbemiro (2018)
	Residuos de curtidurías	0.59 kg/m <sup>3</sup> 0.71 kg/m <sup>3</sup>	0.1114 kN/cm <sup>2</sup> 0.0605 kN/cm <sup>2</sup>	1.08% 1.26%	94.13% 93.22%	2.93% 3.37%	1.84% 2.14%	22.14 MJ/kg 24.1 MJ/kg	Onukak y otros (2017)
	Papel usado, aserrín y cáscara de arroz	485.41 kg/m <sup>3</sup> 390.06 kg/m <sup>3</sup> 459 kg/m <sup>3</sup>	No específica	5.6% 7.1% 5.8%	No específica	21% 14.6% 31%	No específica	15.01 MJ/kg 16.68 MJ/kg 13.69 MJ/kg	Romallosa y Kraft (2017)
	Residuos plásticos	No específica	4.61 N/mm <sup>3</sup>	3.23%- 8.47%	31.86% - 42.41%	23.50%	17.23%- 31.74%	3.008,16 kcal/Kg	Nwabue y otros (2017)

En la tabla 9, se puede observar que las propiedades de las briquetas varían en función del tipo de biomasa empleada. Ajimotokan y otros (2019), fabricaron briquetas a base de partículas de carbón vegetal Idigbo y aserrín de madera de pino. Encontrando que, las variaciones en las proporciones de mezcla de los biorresiduos tuvieron efectos significativos en todas las propiedades investigadas. Un aumento de las partículas de carbón provocó un aumento del contenido de carbono fijo y del valor calorífico de las briquetas. Por el contrario, un mayor contenido de aserrín de pino en la briketa dio como resultado un mayor contenido de materia volátil y un menor poder calorífico. g/min. Asimismo, Ikelle y otros (2017), en su estudio elaboró briquetas de biocarbón, como producto de la combinación de carbón y de tallos de yuca, obteniendo como resultado que en comparación a las briquetas elaboradas por separado (carbón y tallas de yuca), la combinación de estos residuos, mejoró las propiedades de combustión, obteniendo un poder calorífico de 2,5898,18 kJ/kg, con un tiempo de combustión de 22.79.

Lubwama y otros (2019) emplearon cáscaras de arroz, cáscaras de café y cáscaras de cacahuete, en proporciones variables para elaborar briquetas de biocarbón, obteniendo que, la transferencia de calor se mejoró cuando se utilizaron cascara de café y arroz sin aglutinante (12.8866 W/m<sup>2</sup>), con un valor calorífico de 22 MJ/kg. Mientras que, Okot y otros (2019), elaboraron briquetas de mazorcas de maíz y de paja de frijol, encontrando que, al emplear la paja de frijol se logra una mayor densidad y resistencia mecánica con un menor gasto de energía, es decir, se necesita una menor temperatura y presión. Por lo tanto, la paja de frijol como materia prima, genera mejores propiedades físicas y químicas sobre el maíz.

Por su parte, Kimutai y Kimutai (2019), elaboraron briquetas a base de cáscara de anacardo obteniendo como resultado que, al agregar un aglutinante e incrementar la presión de compactación, las propiedades físicas y de combustión de las briquetas mejoraron, sobre todo el valor calorífico que alcanzó un 30,5 MJ/kg, similar al valor de la leña ordinaria (31,38 MJ/kg). En el mismo sentido, Chungcharoen y Srisang (2020), también emplearon la cáscara de anacardo, en combinación con nueces de areca, obteniendo como resultado con una

composición del 65% anacarado y 25% de nueces, proporcionaron una alta tasa de producción junto con propiedades satisfactorias en la humedad, carbono fijo, cantidad de cenizas, materia volátil y poder calorífico. Además, las briquetas mostraron potencial de cocinar con una baja emisión de GEI.

Himbane y otros (2018) elaboró briquetas de carbón, a base de maní, cáscaras de anacarado y tallos de mijo, obteniendo que, el poder calorífico de las briquetas elaboradas (19.49, 26.52 y 22.22 MJ/kg), está por encima de las de madera, al igual que la resistencia a la compresión (0,34, 0,88 y 1,66 MPa); sin embargo, el contenido de cenizas, es mayor al de la madera. Asimismo, Boasiako y Acheampong (2016), elaboran briquetas con residuos de madera, obteniendo que la madera convencional optimiza la combustión y la producción de energía eficiente, mejorando las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la humedad. Por su parte, Yank y otros (2016), elaboraron briquetas a base de cáscara de arroz y salvado, obteniendo como resultado que, las briquetas con mayor durabilidad y resistencia son aquellas que usaron polvo de arroz como aglutinante; mientras que la incorporación de agua en la elaboración ayudó en el proceso de densificación.

Con respecto a los residuos urbanos e industriales, Shankar y otros (2021), en su estudio, emplearon una paca de residuos sólidos urbanos para la elaboración de briquetas, obteniendo como resultado que, las propiedades físicas y de combustión, mejoran luego de la fabricación (25 días), aumentando la durabilidad, que pasó del 93% al 98% y la densidad, que representó el doble de la inicial (50 kg/m<sup>3</sup>). Además, establecieron que, estas briquetas, son similares a la biomasa leñosa y herbácea, por lo tanto, los desechos urbanos, se pueden utilizar eficazmente para la producción de biocombustibles. En el mismo sentido, Bayú y otros (2020), emplean residuos urbanos degradables para producir briquetas, evaluando sus propiedades y comparándolas con briquetas de carbón. Los resultados muestran que, las briquetas de carbón tenían un alto contenido de materia volátil (29,4%), mientras que las de residuos, se mantenían dentro de los

rangos establecidos y tenían un nivel de humedad mayor (18.15%) y alta densidad (157.3 kg /m<sup>3</sup>).

Por otra parte, Olugbemi (2018), en su estudio, elaboran briquetas con residuos vegetales (zanahoria y repollo) de un mercado en Nigeria, obteniendo que estos residuos son fáciles de manejar para su conversión en briquetas y que sus propiedades son aceptables, ya que presentaron un contenido de humedad entre 3.03 a 8.47%, con una densidad alta 0,79 g /cm<sup>3</sup>–0,96 g/cm<sup>3</sup> y con velocidades de combustión entre 9,21 min y 4,89 g/min. Mientras que, Onukak y otros (2017), realizó la caracterización de briquetas elaboradas con residuos de curtidurías (carne, virutas de cromo, polvo de pulir), obteniendo que, el tamaño de partícula, la presencia de aglutinante, el contenido de humedad, la materia volátil, el contenido de cenizas y el valor calorífico, afectan la calidad de las briquetas. Asimismo, las briquetas con mayor contenido de humedad: 1.08% y 1.26%, tuvieron un valor calorífico mayor (22.141 MJ/kg y 24.101 MJ/kg).

Por otro lado, Nwabue y otros (2017), elaboraron briquetas con materiales plásticos y biorresiduos disponibles localmente (bolsas de agua usadas, bolsas de polietileno, aserrín y cáscara de maíz), obteniendo que, la densidad de las briquetas influyó en el consumo específico de combustible y la producción de energía de las briquetas. Asimismo, las briquetas más densas mostraron una mejor velocidad de combustión y por tanto, un mayor poder calórico. Romallosa y Kraft (2017), elaboraron briquetas combinando residuos agrícolas como el aserrín y la cáscara de arroz con el papel. Se obtuvo que, la combinación de aserrín con papel usado obtuvo el mejor valor calorífico, alcanzando 16.68 MJ/kg, mientras que las briquetas de papel obtuvieron un mayor densidad (485.41 kg/m<sup>3</sup>), un nivel de humedad aceptable y un 21% de cantidad de cenizas, por tanto, se considera que el papel es una materia adecuada para convertirla en fuente de energía.

Del análisis realizado, se puede determinar que en base a los tipos de biomasa que se utilizan para la elaboración de briquetas, se puede establecer que

los estudios revisados, emplean diferentes materias primas para la composición, como agrícolas y urbanas e industriales, sin embargo, los residuos agrícolas son los de mayor uso. El uso de residuos agrícolas y forestales, en mayor medida, como materia prima para la elaboración de las briquetas, se debe a su abundancia en la naturaleza, lo que los hace fáciles de encontrar y los convierte en una fuente de biomasa económica, sobre todo para los países en desarrollo.

Dentro de las biomásas agrícolas más empleadas, se presentan mazorcas de maíz, cáscara de arroz, caña de azúcar, café molido, cáscaras de frutos, madera de los árboles, aserrín, entre otros. Estos resultados son similares a los de Espinoza y otros (2020), quienes encuentran que, las fuentes para la elaboración de briquetas son abundantes, destacando dentro de los residuos agrícolas: las astillas de madera, cáscara de piñón, bagazo de caña de azúcar, aserrín de pino, serrín y viruta, pulpa de madera, papel, algodón, residuos de carbón vegetal, madera, entre otros. En la misma línea, Sapariya y otros (2016), establece que los residuos agrícolas más empleados son el bagazo, nuez de tierra, el serrín, la hierba en rama de algodón y la cáscara de arroz, que se presentan en forma de biomasa cruda, hidrolizada y carbonizada.

Dentro de los residuos urbanos e industriales utilizados, destaca el uso del papel, residuos municipales y del plástico, extraídos de las bolsas y de algunos artefactos en desuso. Esto demuestra que no solo es posible la elaboración de briquetas con residuos provenientes de fuentes agrícolas y forestales, sino también de materiales desechados o reciclados, presentándose no solo como alternativa de energía frente a otros combustibles como la leña, sino también como medio para la gestión de residuos municipales que contribuya a la reducción de la contaminación.

Por otra parte, tanto las briquetas elaboradas con residuos agrícolas, como las industriales poseen, un efecto favorable en las propiedades físicas y químicas de las briquetas, las cuales van a variar en función de diferentes factores. Para el

caso de las briquetas elaboradas con residuos urbanos, depende del contenido de humedad de la biomasa, así como del tamaño de las briquetas. Mientras que, para el caso de las briquetas de residuos agrícolas, estas características varían de acuerdo a la presión de compactación ejercida y la presencia y cantidad de aglutinante. Asimismo, la combinación con partículas de carbón, es fundamental para incrementar el valor calorífico de las briquetas, generando un mejor rendimiento en el proceso de combustión.



## V. CONCLUSIONES

1. Los aglutinantes tanto orgánicos como inorgánicos influyen de manera favorable en la calidad de las briquetas, dependiendo del nivel de concentración y de la presión empleada en la compactación. El aglutinante más utilizado en los estudios revisados, es el almidón, debido a que mejora la densidad, resistencia a la compresión y durabilidad de las briquetas; aunque, existen otros aglutinantes de menor uso como las microalgas y la bentonita, que obtienen mejores resultados sobre la densidad de las briquetas, lo que disminuye su velocidad de combustión y aumenta su durabilidad.
2. Las tecnologías más utilizadas en la elaboración de briquetas son la prensa de extrusión de tornillo, prensa de pistón hidráulica y prensa de rodillo, empleadas a diferentes temperaturas y niveles de compactación (media y alta presión), que influyen en la calidad de las briquetas. De la comparación de las tecnologías, se deduce que, la prensa de rodillo, es menos eficiente, para elaborar briquetas con un alto nivel de resistencia a la compresión y al impacto.
3. Se emplean diferentes tipos de biomasa para la elaboración de briquetas como los residuos agrícolas, forestales, urbanos e industriales, destacando el uso de residuos agrícolas y forestales, en mayor medida, debido a su abundancia en la naturaleza, lo que los convierte en un recurso económico. El tipo de biomasa influye en las propiedades físicas y químicas de las briquetas. La biomasa agrícola y forestal tiene efectos variados sobre las propiedades de las briquetas que dependen de la humedad de biomasa y del tamaño de las briquetas a elaborar; mientras que, en el caso de la biomasa urbana depende de la presencia y cantidad de aglutinante y de la presión ejercida. Asimismo, el uso del carbón en la composición ayuda a incrementar el poder calorífico de las briquetas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se debe indagar sobre el proceso de elaboración de briquetas con residuos urbanos e industriales, ya que, no solo sirven como nuevas alternativas para generar energía amigable, sino también como un medio para la gestión de los residuos que permita disminuir las grandes cantidades de desechos que se generan y mitigar la contaminación ambiental.
2. Debido a que la generación de gases del efecto invernadero es un tema preocupante, los estudios deben enfocarse en analizar las emisiones que generan las briquetas en el proceso de combustión, con la finalidad de elegir las biomásas y aglutinantes adecuados, que contribuyan en la reducción de estas emisiones.
3. Se deben presentar alternativas de elaboración de briquetas viables y económicas, evaluando los costos que se generan, debido a que esta información es de utilidad, sobre todo para las áreas rurales de los países en desarrollo, que no cuentan con tecnologías sofisticadas por su alto costo de adquisición.

## REFERENCIAS

**AJIMOTOKAN, H., et al. 2019.** *Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates.* Nigeria : Scientific African.

**ANATASYA, Amanda, KETUT, Ngurah and SUBAGIO. 2019.** *The effect of binding types on the biomass briquette calorific value form cow manure as a solid energy source.* 2019, ICENIS.

**ARANSIOLA, E, et al. 2019.** *Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette.* Nigeria : s.n., Enegy Reports , Vol. 5, pp. 909-918.

**ARIAS, Jesús, VILLASIS, Miguel and MIRANDA, María. 2016.** *El protocolo de la investigación.* Ciudad de México : Colegio Mexicano de Inmunología Clínica y Alergia, 2016. pp. 201-206.

**BANDARA, Wartw and KOWSHAYINI, P. 2017.** *Evaluation of the performances of biomass briquettes produced with invasive eichornia crassipes, wood residues and cow dung for small and medium scale industries.* 1, 2017, Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications, Vol. 8.

**BAYU, A, AMIBO, T and AKUMA, D. 2020.** *Conversion of Degradable Municipal Solid Waste into Fuel Briquette: Case of Jimma City Municipal Solid Waste.* 2, Jimma : s.n., 2020, Journal of Energy & Environment, Vol. 11, pp. 122-129.

**BEMBENEK, Michael and UHRYNSKI, Andrzej. 2021.** *Analysis of the Temperature Distribution on the Surface of Saddle-Shaped Briquettes Consolidated in the Roller Press.* 1770, Krakow : s.n., 2021, Materials, Vol. 14, pp. 2-15.

**BOASIAKO, Antwi and ACHEAMPONG, B. 2016.** *Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods different densities.* Ghana : s.n., 2016, Biomass and Bionergy , Vol. 85, pp. 144-152.

**BOROWSKI, Gabriel, STEPNIEWSKI, Witold and WÓJCIK, Katarzyna. 2017.** *Effect of starch binder on charcoal briquette properties.* Lublin, Poland : s.n., 2017, International Agrophysics , Vol. 31, pp. 571-574.

**CHUNGCHAROEN, Thatchapol and SRISANG, Naruebodee. 2020.** *Preparation and characterization of fuel briquettes made from dual agricultural waste: Cashew nut shells*

*and areca nuts*. Chumphon : s.n., 2020, Journal of cleaner production , Vol. 256, pp. 1-14.

**DINESHA, P., KUMAR, Shiva and ROSEN, Marc. 2018.** *Biomass Briquettes as an alternative fuel: A Comprehensive Review*. 2018, Energy Technology.

**EFOMAH, Andrew and GBABO, Agidi. 2015.** *The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of Rice Husk Briquettes Produced from a Vibratory Block Mould Briquetting Machine*. 5, Nigeria : s.n., 2015, Engineering & Technology , Vol. 2, pp. 814-822.

**EPEC. 2016.** *Energía renovable: la biomasa*. Cordoba : s.n., 2016.

**ESPINOZA, Teófilo, et al. 2020.** *Agricultural, forestry, textile and food waste used in the manufacture of biomass briquettes: A review*. Scientia Agropecuaria. Trujillo : s.n., 2020. pp. 427-437.

**FAO. 2018.** *Improved charcoal technologies and briquette production from Malawi*. Malawi : Food and Agriculture Organization of the United Nations , 2018.

**GILL, Nishant, DOGRA, Ritu and DOGRA, Baldev. 2017.***Influence of Moisture Content, Particle Size, and Binder Ratio on Quality and Economics of Rice Straw Briquettes*. Punjab, India : s.n., october 5, 2017, Bionergy Research .

**GUO, Zhenkun, et al. 2021.** *Optimization of composite binder for Lignite powder briquetting*. 2021, International Journal of coal preparations and utilization.

**HANDRA, Nofriady and HAFNI, H. 2017.***Effect of Binder on Combustion Quality on EFB Bio-briquettes*. Sumatera, Indonesia : s.n., 2017, International Conference on environment and technology , Vol. 97, pp. 1-7.

**HIMBANE, Philippe, et al. 2018.** *Physicochemical and mechanical properties of biomass coal briquettes produced by artisanal method*. 1, 2018, African Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 12, pp. 480-486.

**IKELLE, I, et al. 2017.***Study on the Combustion Properties of Bio-Coal Briquette Blends of Cassava Stalk..* 2, Nigeria : s.n., 2017, ChemSearch Journal , Vol. 8, pp. 29-34.

**INBAR. 2020.** *El bambú como fuente de Bioenergía*. s.l. : Organización Internacional del Bambú y el Ratán , 2020.

**JASICZEK, Filip and KWASNIEWSKI, Dariuz. 2020.** *Analysis of production technology of wood briquettes, including costs and distribution*. s.l. : Agricultural Engineering, 2020.

**KAUR, Ajit, ROY, Madhuka and KUNDU, Krishnendu. 2017.** *Densification of biomass by briquetting: A review.* 10, Punjab : s.n., 2017, International Journal of Recent Scientific Research , Vol. 8.

**KHUDYAKOV, Yu, et al. 2018.** *Kaolin Raw Material Briquetting for Lump Chamotte Production.* 2018, Refracct Ind Ceram , Vol. 59, pp. 333-337.

**KIMUTAI, Stephen and KIMUTAI, Isaiah. 2019.** *Investigation of physical and combustion properties of briquettes from cashew nut shell and cassava binder.* Kenya : International Journal of Education and Research, 2019.

**KUMAR, Manoj, PRIYANK, Gohil and SHARMA, Nikita. 2015.** *Biomass Briquette Production: A Propagation of Non-Convention Technology and Future of Pollution Free Thermal Energy Sources.* 2, Bhopal, India : s.n., 2015, American Journal of Engineering Research , Vol. 4, pp. 44-50.

**KUYE, Ayoade and INI, Daniel. 2017.** *Some Properties of Briquettes Produced from Sawdust and Different Binders using a Fabricated Hydraulic Piston Press.* 2, 2017, Journal of alternate energy sources and technologies , Vol. 8, pp. 17-23.

**LOGINOV, Yu, BABAILOV, N and POLYANSKII, L. 2018.** *Effect of the Precompaction Pressure on the Density Distribution in a Metallurgical Briquette During Roller Pressing.* January 2018, Metallurgist , Vol. 61, pp. 849-852.

**LOHMEIER, Laura, et al. 2020.** *Briquetting of Fine-Grained Residues from Iron and Steel Production Using Organic and Inorganic Binders.* Austria : s.n., 2020, Advanced Science News , pp. 1-10.

**LOZADA, José. 2014.** *Investigación Aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria.* Quito . Pichincha : Centro de Investigación en mecatronica y Sistema interactivos, 2014.

**LUBWAMA, Michael, et al. 2019** *Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources..* Kampala : s.n., 2019, Renewable Energy.

**MIAK, Manik. 2017.** *Effect Of Additives On Rice Husk Briquette By Piston Press System.* Bangladesh University of Engineering and Technology . 2017. Master of science in mechanical engineering.

**MORENO, Begoña, et al. 2018.** *Revisiones Sistemáticas: Definición y Nociones Básicas.* 3, Snatiago de Chile : s.n., 2018, Revista Clínica Periodoncia Implantología y Rehabilitación Oral , Vol. 11.

**MUAZU, Rukayya and STEGEMAN, Julia. 2017.** *Biosolids and microalgae as alternative binders for biomass fuel briquetting.* London : s.n., 2017, Fuel , Vol. 194, pp. 339-347.

**MUSTAFIN, E, et al. 2019.** *Production of coal briquettes using the original binder.* 4, Kazakhstan : s.n., 2019, Vol. 96, pp. 85-88.

**NATH, S, et al. 2017.** *Evaluation of the suitability of alternative binder to replace OPC for iron ore slime briquetting..* Indian : s.n., 2017, Trans Indian Institute .

**NWABUE, F, UNAH, U and ITUMOH, EJ. 2017.** *Production and characterisation of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials.* Nigeria : s.n., 2017, Environmental Technology & Innovation , pp. 1-24.

**OKOT, David, BILSBORROW, Paul and PHAN, Anh. 2019.** *Briquetting characteristics of bean straw-maize cob blend.* Uganda : s.n., 2019, Biomass and Bioenergy , Vol. 126, pp. 150-158.

**OLADEJI, J. 2015.** *Theoretical aspects of biomass briquetting: A review Study.* 3, s.l. : IISTE , 2015, Journal of energy technologies and policy , Vol. 5.

**OLUGBADE, Temitope, OJO, Oluwole and Mohammed, Tiamiyu. 2019.** *Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: A recent review".* Nigeria : Springer Science, 2019, BioEnergy Research .

**OLUGBEMIRO, M and OLORUNNISOLA, Abel. 2018.** *Potential of Briquetting as a Waste-Management Option for Handling Market-Generated Vegetable Waste in Port Harcourt, Nigeria.* s.l. : 3, 2018, Recycling, Vol. 11, pp. 2-13.

**ONUKAK, Imeh, MOHAMMED, Ibrahim and AMEH, Alewo. 2017.** *Production and Characterization of Biomass Briquettes from Tannery Solid Waste.* 17, Zaria, Nigeria : s.n., 2017, Recycling, Vol. 2, pp. 2-19.

**ORISALEYE, Joseph, et al. 2018.** *Effect of densification variables on density of corn cob briquettes produced using a uniaxial compaction biomass briquetting press.* 24, Energy Sources , Vol. 40.

**RAFSANJANI, K, SARWONO, S and NORIYANTI, D. 2012.** *Study of potential utilization of biomass from organic waste as alternative fuel (briquette) in support of eco-campus in ITS Surabaya.* 2012, Teknik Pomits, pp. 1-6.

**REJDAK, Michal, et al. 2019.** *Research on the Production of Composite Fuel on the Basis of Fine-Grained Coal Fractions and Biomass—The Impact of Process Parameters and the Type of Binder on the Quality of Briquettes Produced.* 31, 2019, Minerals , Vol. 10, pp. 2-12.

**SANEEWONGNAAYUTTAYA, Narongrit, et al. 2019.** *Briquette production from rice husk by using screw compaction.* 463, 2019, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, pp. 1-7.

**SAPARIYA, Dharmendra, PARIKH, Krunal and BAROT, Madhusudan. 2016.** *A review on Briquette (Biocal) from crops residual as a feasible energy conversion technology.* 10, Ahmedabad : Special Issue, 2016, International Journal of Engineering Research & Technology , Vol. 4.

**SEN, Ranjit, WIWATPANYAPORN, Sujinda and PADMAKAR, Ajit. 2016.** *Influence of binders on physical properties of fuel briquettes produced from cassava rhizome waste.* 2, Thailand : s.n., 2016, International Journal and waste management , Vol. 17, pp. 158-175.

**SHANKAR, Jaya, et al. 2021.** *Pilot-scale grinding and briquetting studies on variable moisture content municipal solid waste bales – Impact on physical properties, chemical composition, and calorific value.* Idaho : s.n., 2021, Waste Management , Vol. 125, pp. 316-327.

**SONG, Bing, et al. 2021.** *Producing a high heating value and weather resistant solid fuel via briquetting of blended wood residues and thermoplastics .* New Zeland : s.n., June 5, 2021, Fuel , Vol. 283, pp. 1-10.

**ULLAH, Saif, SHAHZAD, Rana and GANG, Tian. 2021.** *Analysis of biofuel (briquette) production from forest biomass: a socioeconomic incentive towards deforestation.* 2021, Biomass Conv. Bioref.

**VOICEA, Iulian, et al. 2016.** *Theoretical and experimental research on the process of biomass briquetting.* 3, 2016, Scientific Bulletin , Vol. 78

**WFC. 2015.** *Policy solutions for sustainable charcoal un Sub-Saharan Africa.* s.l. : World Future Council, 2015.

**YANK, A, NGADI, M and KOK, R. 2016.** *Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications.* Canadá : s.n., 2016, Biomass and Bioenergy , Vol. 84, pp. 22-30.

**YUNG, Brian. 2015.** *Using binders tod briquette carbonaceous material and steel wastes.* 2015, PBE.

**YUSUF, Sunday, et al. 2020.** *A review of technical and economic aspect of biomass briquetting.* 4609, 2020, Sustainability, Vol. 12.

**YUSUF, Sunday, et al. 2020.** *Production and Characterization of Hybrid Briquettes from Corncobs and Oil Palm Trunk Bark under a Low Pressure Densification Technique.* 6, Selangor, Malaysia : s.n., 2020, Sustainability , Vol. 12.

**ZANELLA, Karine, CONCENTINO, Vinicius and TARANTO, Osvaldir. 2017.** *Influence of the Type of Mixture and Concentration of Different Binders on the Mechanical Properties of “Green” Charcoal Briquettes.* Brazil : s.n., 2017, Chemical Engineering Transactions , Vol. 57. ISSN 2283-9216.

**ZHANG, Guojie, SUN, Yinghui and Xu, Ying. 2018.** *Review of briquette binders and briquetting mechanism.* Taihuan : s.n., 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews , Vol. 82.

.