

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA DE BRIQUETAS DE CARBÓN PARA
COCINAR, ELABORADAS A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES.**

Elaborado por:

Nolberto Angarita Becerra

Solkarine Ardila Romero

David Alejandro Cedeño Cardenas

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Posgrado

Bogotá

04/09/2022

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad realizar una Revisión Bibliográfica Sistemática (RBS) en las principales bases de datos de ingeniería, sobre briquetas de carbón para cocinar elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales. Se identificaron los artículos que cumplieron con el objetivo y se sintetizaron en una tabla en donde se incluyó el tipo de material vegetal utilizado, el tipo de aglutinante y los diferentes parámetros principales ensayados, como presión, humedad, etc. De la revisión se concluyó que, ninguna de las configuraciones de briquetas encontradas en la literatura cumplía con la totalidad de requisitos exigidos por las normas nacionales e internacionales. Las briquetas elaboradas bajo las etapas establecidas en la Figura 6, fueron las que tuvieron los mejores resultados respecto a los requisitos normativos. Además, las briquetas elaboradas de un solo tipo de materia prima o que incluían cascara de coco dentro de sus configuraciones, mostraban un rendimiento y calidad superior a las que tenían varios tipos de materia prima mezclada. Por último, todos los aglutinantes encontrados tienen fines alimenticios, por lo cual se recomienda buscar otro tipo de sustancia que tenga propiedades aglutinantes, para no colocar en riesgo la sustentación alimentaria.

Abstract

The object of present investigation was to make a systematic bibliographic review in the most important engineering data bases, of cooking charcoal briquettes made of agricultural and forest residues. Several articles were identified that meet the criteria and these were synthesized in a sheet displaying the composition materials, binders and the main characteristics like pressure, humidity etc. Furthermore, an engineering position was included in the results of the multiple

briquettes configurations. This where organized in a table showing the different configurations and both national and international requirements compliance. The analysis included the process and the parameters used on each briquette and the convenience of adapting it to the local market. The briquettes made under the stages established in Figure 6 were the ones that had the best results with respect to the regulatory requirements. In addition, the briquettes made from a single type of raw material or that included coconut shell within their configurations, showed a higher yield and quality than those that had several types of mixed raw material. Finally, all the binders found have food purposes, for which it is recommended to look for another type of substance that has binding properties, so as not to put food sustenance at risk.

Palabras clave

Briquetas de carbón, residuos agrícolas, residuos forestales, aglutinante, asados, cocina.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Abstract	2
Resumo	¡Error! Marcador no definido.
Palabras claves	3
Problema de investigación	8
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos	11
Justificación	11
Marco referencial	12
Marco teórico	12
Briquetas de carbón.....	12
Residuos agrícolas.	12

Residuos forestales.....	13
Aglutinantes.....	13
Pirólisis.....	13
Carbonización.....	13
Marco legal.....	14
Metodología.....	15
Bibliometría.....	19
Revisión bibliográfica sistemática.....	25
Procesamiento.....	57
Recolección de materia prima.....	57
Secado de la materia prima.....	57
Carbonización de la materia prima.....	58
Triturado y tamizado.....	59
Mezcla de carbón con aglutinante.....	60
Elaboración de briquetas.....	61
Secado de briquetas.....	61
Briquetas elaboradas sin carbonización.....	62
Parámetros utilizados.....	63
Materia prima.....	63

Aglutinante.....	67
Análisis de resultados.	70
Poder calorífico.....	81
Contenido de humedad.	82
Contenido de materia volátil.....	82
Contenido de ceniza.....	83
Carbono fijo.....	83
Briquetas sin carbonización.....	84
Conclusiones.....	84
Bibliografía.....	87

Lista de figuras

Figura 1.....	16
Figura 2.....	18
Figura 3.....	22
Figura 4.....	23
Figura 5.....	30
Figura 6.....	57
Figura 7.....	61

Figura 8.	62
Figura 9.	66
Figura 10.	69

Lista de tablas.

Tabla 1.	15
Tabla 2.	20
Tabla 3.	26
Tabla 4.	31
Tabla 5.	63
Tabla 6.	67
Tabla 7.	70

Problema de investigación

En Colombia, para el año 2017 la producción de residuos agrícolas estimada a partir de los cultivos más representativos fue de 218.0007.204 toneladas. Entre los cultivos que más residuos generaron se encuentran la caña de azúcar con 155.866.414 toneladas, el plátano con 26.547.871 toneladas y el banano con 12.674.307 toneladas, el no aprovechamiento de estos residuos genera un impacto ambiental y contribuye al calentamiento global en el país (Gómez et al., 2019)

Respecto a la producción de carbón vegetal en el país, no se conocen cifras exactas, sin embargo, varias empresas, la mayoría en la región caribe de Colombia, producen y exportan carbón vegetal a otros países. En su trabajo de grado, Yacira Pérez Torres realizó una evaluación del impacto ambiental generado por la producción de carbón vegetal en el corregimiento de Hibacharo en el municipio de Piojo departamento del Atlántico, en dicho trabajo menciona que la mayor reserva forestal del Atlántico está ubicada en el municipio del Piojo y ha sido devastada durante décadas por campesinos que utilizan los árboles para hacer carbón vegetal, actualmente se ve un paisaje de depredación y no se ha logrado definir exactamente cuantas hectáreas se han talado (Pérez, 2017).

Las briquetas de carbón vegetal son un producto elaborado a partir de residuos agrícolas y forestales, ricas en carbono derivada de la pirolisis de materiales orgánicos en condiciones controladas y prensadas a través de una maquina briqueteadora. Se estima que el mercado internacional de carbón vegetal alcance cerca de los 6500 millones de dólares en el año 2023, este crecimiento es debido a una mayor aplicación del carbón vegetal en procesos metalúrgicos, la cocción de asadores y otras industrias (Tippayawong et al., 2019).

El proceso de elaboración de una briqueta de carbón vegetal consta de 5 pasos, la carbonización, la molienda, la mezcla, la compactación y el secado. En la carbonización, se ingresa la materia prima, que son los residuos agrícolas y forestales, a un reactor de pirolisis, que realiza una descomposición química de la materia orgánica causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno; en la molienda, se reduce el tamaño del biochar generado en la carbonización; en el tercer paso, se mezcla con un aglutinante que puede ser natural como la harina de Tapioca o almidón extraído de las raíces de la planta de Yuca, o con otros almidones; en la compactación, se pasa la mezcla por una maquina briqueteadora que la compacta mecánicamente; Como último paso, se realiza un secado al ambiente o en una cámara de tratamiento térmico (Tippayawong et al., 2019a).

En su estudio de producción y caracterización de briquetas de carbón vegetal obtenido de los residuos de la agricultura en Camerún, Tiam Kapen, comparo tres tipos de carbón de briquetas obtenidos de la cascara de maíz, la cascara del plátano y la mezcla de estos dos, con el carbón de leña, encontrando resultados prometedores de estabilidad de los 3 tipos de briquetas, con poderes caloríficos que oscilaban entre los 16,87 y 17,24 MJ/Kg para las briquetas de cascara de maíz, de plátano y de la mezcla de los dos, esto en comparación con el poder calorífico del carbón de leña que fue de 27,72 MJ/Kg y menores costos de fabricación.(Kapen et al., 2022a).

Por su parte, Safri Gunawam investigo las variaciones en las briquetas con varios tipos de aglutinante natural y varias presiones de moldeo, usando como materia prima la cascara de coco y la cascara de durian. encontró en dicha investigación que el almidón de Yuca es el mejor

aglutinante comparado con la harina de maíz, arroz y trigo, y sagu; y que la presión de moldeo de 100 Bar da una briqueta más estable que la presión a 80 Bar (Gunawan et al., 2022).

Finalmente, Richard Napitupulu propone como otro tipo de material aglutinante no natural el uso de aceite lubricante usado de los vehículos para las briquetas de carbón, su estudio mostro que el aceite comparado con aglutinantes de origen natural como de cereales, brindaba las mejores características y que, además, facilita la combustión.(Napitupulu et al., 2020)

Según la página web, Europages, que recopila la información de más de 3.000.000 de empresas y sus actividades y productos económicos, en Colombia actualmente no existe ninguna empresa que produzca briquetas de carbón elaboradas con residuos agrícolas o forestales, todas las empresas colombianas que figuran en esta base de datos, elabora carbón de madera. De acuerdo con lo anterior es importante responder a la siguiente pregunta ¿Qué alternativas de configuración de briquetas de carbón para cocina elaboradas a partir de residuos agrícolas y vegetales, hay hoy en día disponible en la literatura?

Objetivos

Objetivo General

Realizar una Revisión Bibliográfica Sistemática en las principales bases de datos científicas (*Scopus, Web Of Science y ScienceDirect*), de las configuraciones de briquetas de carbón para cocinar, elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, con el fin de realizar una comparativa de parámetros con la normativa nacional e internacional vigente.

Objetivos específicos

- Establecer los parámetros de búsqueda de la literatura sobre briquetas de carbón para cocinar, elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales y realizar un análisis bibliométrico.
- Realizar mapas bibliométricos relacionados con briquetas de carbón, elaboradas a partir de residuos.
- Identificar y determinar cuáles son las teorías, factores y variables más importantes en relación con la calidad de las briquetas.
- Establecer los principales parámetros para elaboración de las briquetas de carbón vegetal.

Justificación

La presente investigación resulta importante, sobre todo en el entorno colombiano, en el cual actualmente no se elaboran briquetas de carbón vegetal utilizando residuos, sino que se elaboran a partir de la tala de árboles como lo expreso (Pérez, 2017), lo cual genera grandes impactos al medio ambiente.

Según el Observatorio de Complejidad Económica (OEC) en el año 2020, Colombia exportó \$7.09 M US de carbón vegetal, convirtiéndose en el exportador número 32 de Carbón vegetal en el mundo y esta exportación fue la número 228 más exportada por el país. Los principales países en donde se comercializó fueron Israel, Chile y EE.UU y se espera un crecimiento de las exportaciones en los próximos años.

Muchos artículos hablan del posible potencial de la utilización de briquetas de carbón elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, sin embargo, el tipo de residuo, el aglutinante utilizado y factores como humedad de la mezcla o presión de la briqueteadora pueden modificar la calidad de las briquetas y su aceptación en la normativa colombiana (NTC 2060, 1987).

Es por esto, por lo que la presente investigación, realiza un Análisis Bibliométrico que determina teorías, factores y variables referente a la temática planteada y propone la mejor alternativa de configuración de briquetas para implementar en el país.

Marco referencial

Marco teórico

En el presente marco teórico se recopiló la terminología necesaria para entender el proceso de fabricación de briquetas de carbón a partir de residuos agrícolas y forestales.

Briquetas de carbón.

Las briquetas de carbón son trozos de carbón elaborados a partir de materiales blandos endurecidos. Los factores que influyen en la calidad de las briquetas son la gravedad específica del material (residuos agrícolas y forestales), o la gravedad específica del polvo de carbón (carbonilla), la finura del polvo, la temperatura de carbonización, la presión de prensado y la fórmula de mezcla de la materia prima de las briquetas (Ramadhini et al., 2021).

Residuos agrícolas.

Son materiales que quedan luego de haber realizado la cosecha del cultivo y pueden incluir tallos, rastrojos, hojas y vainas de semillas (FAO, 2014). Residuos forestales.

Residuos forestales.

Son residuos que proceden del mantenimiento y mejora de masas forestales, cuando se realizan tratamientos en los bosques como podas, limpiezas, claras, etc. También, son los residuos resultantes de cortar troncos de árboles para hacer productos de madera (Junta de Castilla y León, s.f.).

Aglutinantes.

Sustancia líquida o sólida, que se encarga de mejorar las propiedades, proporcionar resistencia mecánica a las briquetas de carbón y aumentar la densidad aparente energética, formando un puente, una película una matriz o desencadenando una reacción química que crea un vínculo fuerte entre las partículas (Adam et al., 2021).

Pirólisis.

Aplicación de altas temperaturas a la biomasa para producir su descomposición en ausencia total de oxígeno y de esta forma incrementar el poder calorífico de esta y obtener combustible gaseoso, líquido o productos sólidos. Cuando la pirolisis es extrema, dejando únicamente carbono como residuo es conocida como carbonización (Balaguer, 2019).

Carbonización.

Es el proceso de calentamiento de materiales orgánicos, con temperaturas que oscilan entre 400 y 700 °C, en ausencia de aire con el fin de producir un producto sólido (carbón) (Quesada Kimsey, 2012).

Marco legal

En el ámbito internacional existen varias normas que regulan las especificaciones de las briquetas de carbón, sin embargo, la mayoría de las normas encontradas no son de acceso abierto. Se pudo acceder a la norma EN 1860-2:2005 de Europa, en la cual se especifican los requisitos y métodos de prueba para carbón vegetal y briquetas de carbón vegetal para uso en aparatos de barbacoa (EN, 1860-2:2005). En el ámbito nacional se cuenta con la norma NTC 2060 de 1987 (NTC, 1987). En la Tabla 1, se realiza una compilación de los valores críticos de los diferentes parámetros que definen la calidad de las briquetas y que están establecidos en las normas EN 1860-2:2005 y NTC 2060.

Tabla 1

Especificaciones normativas de las briquetas de carbón.

Parámetro	Unidad	EN 1860-2:2005	NTC 2060	Valor critico
Poder calorífico, mínimo	MJ/kg	-	12,5	Mínimo 12,5 MJ/kg
Carbono fijo, mínimo	%	60	-	Mínimo 60
Ceniza, máximo	%	18	30	Máximo 18%
Humedad, máximo	%	8	2,5	Máximo 2.5%
Material volátil	%	-	15	Máximo 15%
Contenido de azufre, máximo	%	-	1	Máximo 1%

Fuente: Elaboración propia

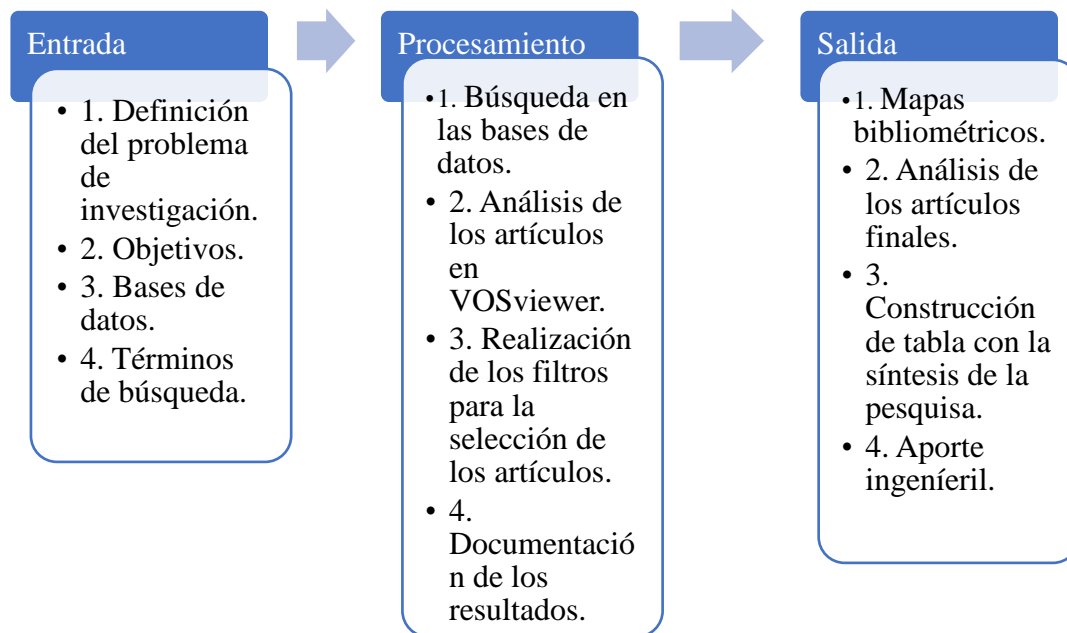
Metodología

La presente investigación presenta un Análisis Bibliométrico Sistemático (ABS) cuantitativo exploratorio, en la cual se recopilan datos confiables, obtenidos de bases de datos científicas, y se relacionan para intentar obtener la mejor configuración de las briquetas de carbón

elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, con el objetivo de compilar una base de datos que pueda ser empleada por futuras investigaciones relacionadas con briquetas de carbón vegetal (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Este trabajo tomo como base el modelo desarrollado por (Conforto & da Silva, 2011), para realizar revisiones bibliométricas, en el cual se siguen sistemáticamente los siguientes pasos: Entrada; Procesamiento y Salida, ver Figura 1.

Figura 1

Modelo para la conducción de la RBS.



Fuente: Elaboración propia

Entrada:

Esta etapa consta de la estructuración de la RBS, y está compuesta por 4 fases, donde se define el problema, se alinean los objetivos, se determinan las bases de datos y se realiza la búsqueda por términos de consulta.

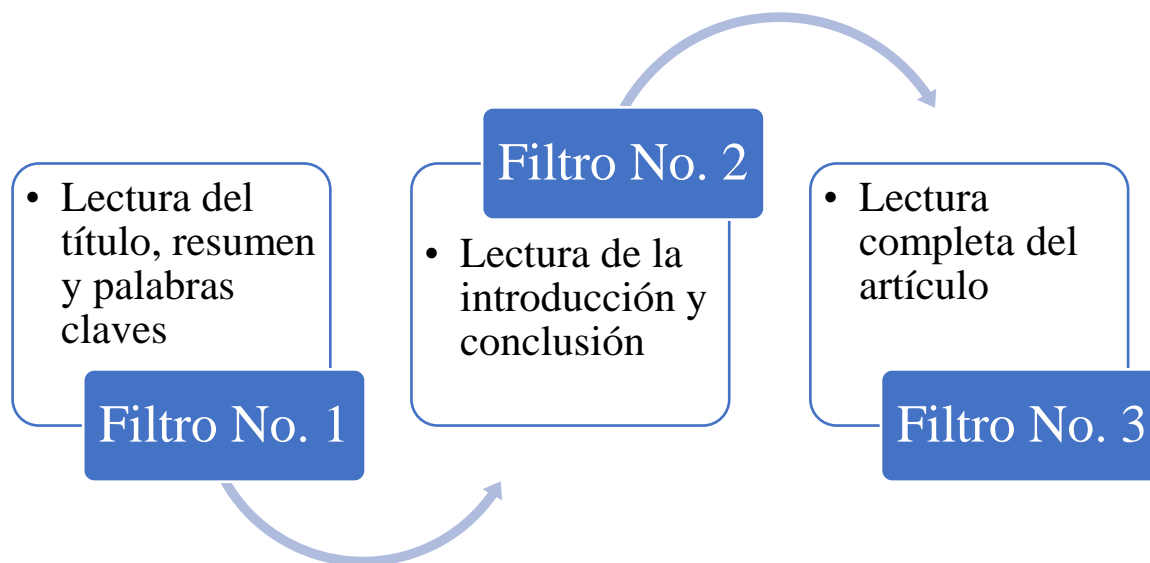
- Fase 1: Definición del problema de investigación – ¿Que alternativas de composición y parametrización para elaborar briquetas de carbón para cocinar a partir de residuos agrícolas y forestales, hay hoy en día disponibles en la literatura?
- Fase 2: Alineamiento de los objetivos - Identificar trabajos que abordan briquetas de carbón para cocinar, a partir de residuos agrícolas y forestales.
- Fase 3: Bases de datos – Se usaron bases de datos que contienen artículos que han sido revisado por pares y que cuentan con herramientas bibliométricas que permiten hacer un análisis con diferentes factores de investigación, las bases de datos usadas fueron; *Scopus, Web of Science (WoS) y ScienceDirect.*
- Fase 4: Términos de búsqueda – Las palabras claves que serán usadas para la búsqueda son: (“*charcoal briquettes*” AND “*waste*”).

Procesamiento:

En esta fase se ejecutó la búsqueda y se filtró los documentos encontrados. La búsqueda se realizó sin límite de tiempo inferior y hasta el año 2022, el tipo de documento utilizado fue artículos de investigación y artículos de revisión, los idiomas de los artículos utilizados fueron español, inglés y portugués. Como se puede observar en la Figura 2, Los artículos encontrados pasaron por tres filtros.

Figura 2

Filtros de la RBS.



Fuente: Elaboración propia

Salida:

Resultado 1: Se realizaron mapas bibliométricos de la red de colaboración global entre países y la co-ocurrencia de las palabras claves más usadas en los artículos de los resultados obtenidos en Scopus.

Resultado 2 y 3: Se elaboro una tabla con la síntesis de la pesquisa, en la cual se evidencia el autor y localización, el proceso utilizado para la elaboración de la briqueta, los parámetros utilizados y los principales hallazgos.

Resultado 4: Se construyó una tabla de resultados, en donde se consignó la calidad de las briquetas encontradas y se identificaron las configuraciones de briquetas que estaban cumpliendo con los valores críticos de las normativas nacionales e internacionales.

Bibliometría

En este capítulo se realizó un análisis bibliométrico de la literatura científica sobre briquetas de carbón vegetal elaboradas con residuos agrícolas y forestales, utilizando el software VOSviewer 1.6.18. Dicho software solo trabaja con las bases de datos de Scopus y WoS, para este caso se trabajó con los resultados obtenidos en Scopus, debido a que los documentos encontrados en WoS fueron 19 y la mayoría ya estaban integrados en los documentos de Scopus.

En la Tabla 2, se presentan todos los países que tienen siquiera un documento relacionado con la presente investigación, las citas de los documentos por cada país y los enlaces con otros países. De la Tabla 2 se evidencia que el país con el mayor número de investigaciones es Indonesia, seguido de EE.UU y Brasil, se resalta el caso de Brasil, como el único país de Sur América que tiene investigaciones en el tema, con un total de 7 documentos.

Figura 3, muestra mapas de análisis de coautoría que presentan redes de colaboración entre países que trabajan en Briquetas de carbón vegetal elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, Estados Unidos es el país que presenta el nodo más grande, pero solo 2 enlaces, mientras que Kenia tiene un nodo menor, es decir menos documentos, pero presenta mayores enlaces, 7 en total, lo que significa que tiene mayores documentos colaborativos, sus investigaciones son con

Alemania, México, EE.UU, Noruega, Japón, Holanda y Suecia. En el caso de Brasil, no presenta investigaciones colaborativas con otros países.

Tabla 2

Número total de documentos, citas y enlaces de los países encontrados en la búsqueda de Scopus.

País	Documentos	Citaciones	Total de enlaces
Kenia	4	86	7
Botsuana	2	2	4
Japón	2	12	4
Sur África	2	2	4
Zimbabue	2	2	4
Holanda	1	10	3
Suecia	1	10	3
Alemania	1	66	2
México	1	66	2

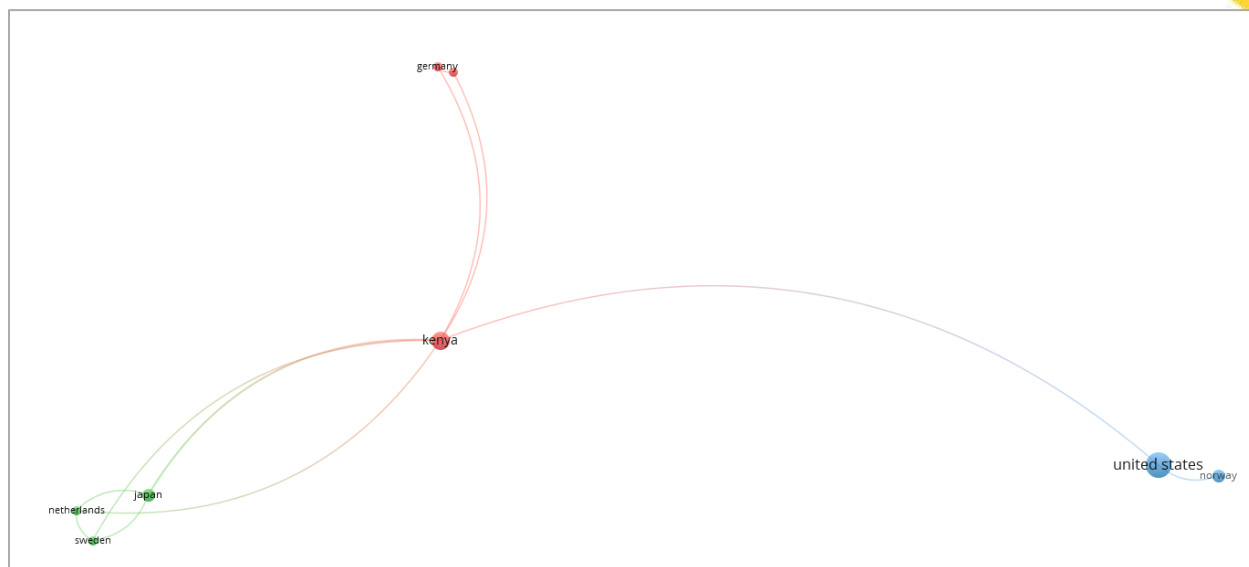
País	Documentos	Citaciones	Total de enlaces
EE.UU	8	280	2
China	5	84	1
Republica Checa	2	5	1
Etiopia	1	7	1
Indonesia	28	76	1
Malasia	3	13	1
Nigeria	1	7	1
Noruega	2	236	1
Bangladesh	1	3	0
Brasil	7	56	0
Camerún	1	3	0
Canadá	1	0	0

País	Documentos	Citaciones	Total de enlaces
Hungría	1	7	0
India	1	0	0
Kazajstán	1	4	0
Filipinas	2	0	0
Arabia Saudita	1	24	0
Taiwán	1	0	0
Tailandia	2	29	0
Turquía	1	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Mapa bibliométrico de VOSviewer de la red de colaboración global entre países que investigan sobre briquetas de carbón vegetal elaboradas con residuos agrícolas y/o forestales, obtenido de Scopus.

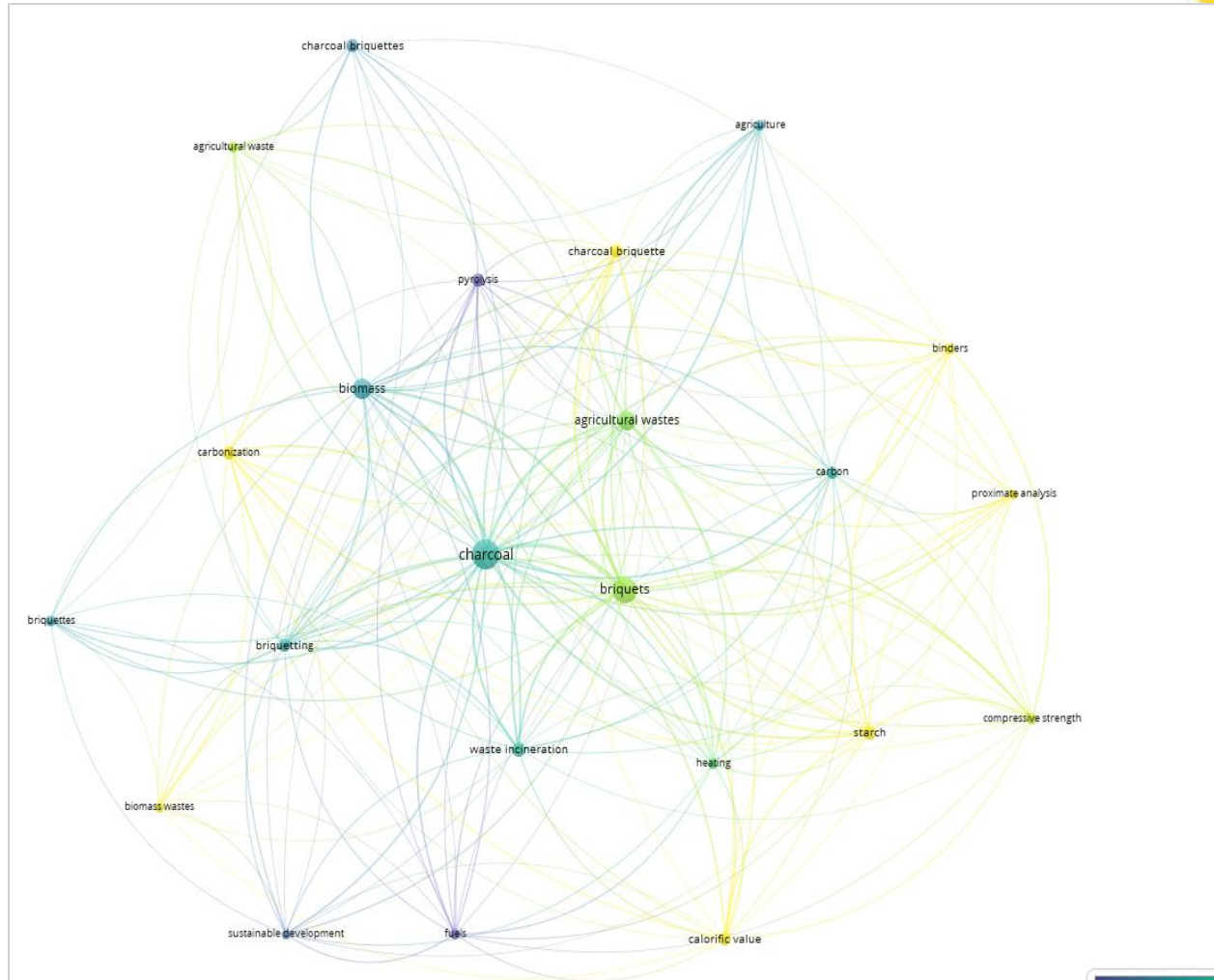


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3, corresponde a un análisis de co-ocurrencia de las palabras más utilizadas entre los documentos registrados en Scopus, con una ocurrencia mínima de 5. Como era de esperarse los términos mayormente mencionados fueron en español “Carbón”, “briquetas” y “Residuos agrícolas”. Otras palabras que son generalmente usadas en la bibliografía son: “Pirolisis” y “Carbonización” que corresponden a procesos unitarios para la transformación del material vegetal; “Valor calorífico”, “Almidón” y “Fuerza compresiva” que son parámetros que se pueden variar o modificar en la búsqueda de la calidad de una briqueta; por último, encontramos “Biomasa”, “Desarrollo sostenible” y “Combustible”.

Figura 4

Mapa bibliométrico de VOSviewer de la red de palabras, en Scopus.



Fuente: Elaboración propia.

Revisión bibliográfica sistemática.

Se encontraron 158 documentos en ScienceDirect, 39 documentos en Scopus y 19 documentos en WoS, con las características que inicialmente se habían establecido. De los 216 documentos encontrados en las tres bases de datos, se realizó una búsqueda de documentos repetidos, arrojando 19 documentos repetidos, por lo cual, la cantidad inicial de documentos que se pasó por el Filtro #1 fue de 197.

De los 197 documentos, 69 documentos pasaron el filtro #1, los 128 documentos que fueron descartados eran documentos que, en su título, palabras claves y/o resumen no tenían presente las briquetas de carbón para ser usadas en la cocina. Del filtro #2 se obtuvieron 52 documentos, los 15 documentos descartados, fueron debido a que después de leer la introducción y conclusiones, se percibió que no tenían relación con la presente investigación, por ejemplo, algunos artículos elaboraban carbón vegetal a partir de residuos, pero no construían briquetas.

Por último, en el filtro #3 se realizó una lectura completa del documento y se descartó, todos los documentos que se percibió no estaban en concordancia con los temas tratados en la presente investigación. Solo 22 documentos lograron pasar el filtro #3. En la Tabla 3 se enlistan los documentos que fueron descartados y la justificación.

Tabla 3

Documentos descartados en el filtro #3.

Referencia	Justificación
(Ferronato et al., 2022)	Evalúa el potencial del método de realización de briquetas de cualquier residuo, como solución para introducir combustibles alternativos en países en desarrollo, pero no menciona especificaciones técnicas.
(Mainimo et al., 2022)	Realiza un estudio de las principales fuentes de energía doméstica para cocinar, menciona muy poco las briquetas de carbón y no enfatiza en especificaciones técnicas.
(Narzary & Das, 2022)	Ensayo un aglutinante para briquetas elaborado con malanga.
(Nikiema et al., 2022)	Para la elaboración de las briquetas utiliza desechos sólidos municipales, mas no residuos agrícolas o forestales.
(Srisang et al., 2022a)	Las briquetas que elaboran son para combustible en industrias, por lo cual no miden las mismas propiedades que requieren las briquetas para cocina.

Referencia	Justificación
(Hoseini et al., 2021)	Es un artículo tipo review de subproductos del café, en este mencionan las briquetas, pero no enfatizan en ellas.
(Kluska et al., 2020)	No se elaboran briquetas sino carbón vegetal a partir de residuos agrícolas.
(Onyango et al., 2020)	No usan residuos para la elaboración de las briquetas.
(Fikri & Sartika, 2018)	Elaboran las briquetas con residuos orgánicos, como hojas de papel.
(Amarasekara et al., 2017)	Elaboran briquetas con algas cultivadas.
(Shiferaw et al., 2017)	Elaboran las briquetas usando residuos de la industria de madera.
(Tan et al., 2017)	Elabora biocombustible con cáscaras de Durián pero no briquetas.
(Wang et al., 2017)	Realizan un análisis de ciclo de vida de briquetas.
(Demirbas et al., 2016)	Aborda carbón vegetal y no briquetas de carbón.

Referencia	Justificación
(Malak et al., 2016)	Enfatizan en el diseño de un reactor químico y no en briquetas.
(Tumutegyereize et al., 2016)	Realizan una comparación de costos de las briquetas de carbón y el carbón vegetal, pero no se enfocan en aspectos técnicos.
(Obi, 2015)	Aborda solamente briquetas de 100% aserrín.
(Pimienta et al., 2015)	No tiene acceso abierto.
(Rezania et al., 2015)	Trata diferentes usos del Jacinto de agua, incluidos las briquetas, pero no enfatiza en especificaciones técnicas.
(Gladstone et al., 2014)	No menciona temas técnicos de las briquetas.
(Mwampamba et al., 2013)	Trata temas de industrialización de las briquetas de carbón, pero no menciona aspectos técnicos de las briquetas.
(Njenga et al., 2013)	Utilizan polvo de carbón vegetal para elaborar las briquetas.

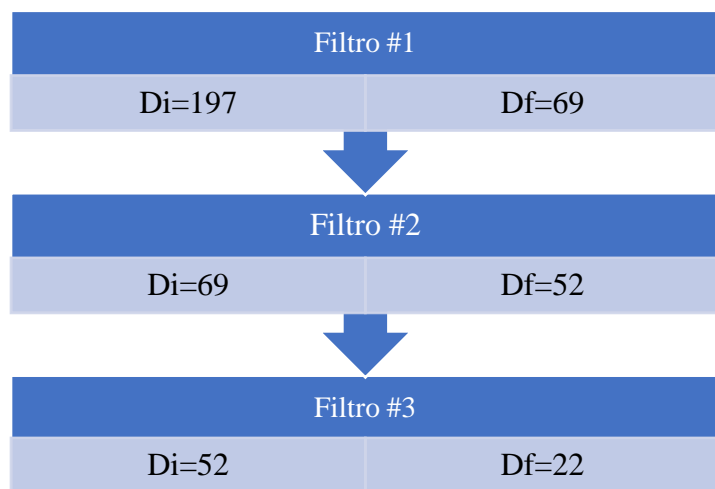
Referencia	Justificación
(Sjølie, 2012)	Realiza un análisis de ciclo de vida de briquetas de carbón de aserrín, para uso industrial.
(Teixeira et al., 2010)	Se trabajó con cenizas de una industria de caña de azúcar.
(Coates, 1999)	No tiene acceso abierto.
(Demirbas, 1999)	No tiene acceso abierto.
(Onaji & Siemons, 1993)	No tiene acceso abierto.
(Bhattacharya et al., 1989)	No tiene acceso abierto.
(Hosier & Svenningson, 1987)	Realizan un análisis social y económico de las briquetas, pero no tratan temas técnicos.
(Koser et al., 1982)	No tiene acceso abierto.

Fuente: Elaboración propia

Así pues, en la Figura 5 se muestra el resumen de los resultados de la aplicación de los diferentes filtros:

Figura 5

Número de documentos por filtros.



Nota: Di es Documentos Iniciales
Df son Documentos Finales

En la Tabla 4, se encuentra la síntesis de los artículos que pasaron el filtro #3.

Tabla 4

Síntesis de los artículos seleccionados en la revisión.

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Adu-Poku et al., 2022)	Ghana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado al sol de la materia prima durante 2 semanas a una temperatura de 28°C y 75% de humedad media. 3. La materia prima se colocó en un reactor de biocarbón, construido artesanalmente. 4. El producto carbonizado se vertió en un baño de agua. 5. El biocarbón húmedo se extendió para que se secara al sol. 6. El biocarbón se mezcló con aglutinante. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se ensayaron briquetas elaboradas con: cáscara de arroz; cáscara de palmiste; aserrín; y, mazorca de maíz. 2. Como aglutinante se utilizó la harina de yuca, en proporción 90% carbón y 10% harina de yuca, se mezclaron completamente. 3. Se uso una prensa hidráulica manual con manómetro y pistón para compactar los materiales, se mantuvo el material en la prensa durante 10 sg. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: cáscara de arroz, cáscara de palmiste, aserrín y mazorca de maíz. 2. Presión en la prensa hidráulica 10, 20 y 30 MPa. 3. Tamaño de partícula de 0,6, mm, 1,8 mm y 2,36 mm. 	<p>*Según el tipo de material, la briqueta de cáscara de palmiste presento el mejor comportamiento mecánico y de propiedades de combustión, seguida de la mazorca de maíz, el aserrín y la cáscara de arroz.</p> <p>*El tamaño de partícula de 0,06 mm tuvo el mejor comportamiento, seguido del tamaño de 1,8 mm y 2,36 mm.</p> <p>*La presión de compactación a 30 MPa tuvo los mejores resultados,</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Kapen et al., 2022)	Camerun	<p>7. Se elaboraron las briquetas usando una prensa hidráulica.</p> <p>7. Las briquetas se secaron al sol durante 3 semanas.</p>	<p>1. Se varió la composición de las briquetas, de la siguiente manera: (1) cáscara de plátano (100%), (2) cáscara de maíz (100%), (3) cáscara de plátano-cáscara de maíz (50-50).</p> <p>2. El secado en el horno se realizó a 60°C durante 8 horas.</p> <p>3. El aglutinante utilizado fue almidón de yuca, la proporción carbón: almidón fue de 85:15.</p> <p>4. La presión de la compactación fue de 5,7</p>	<p>1. Materia prima para composición de las briquetas: cáscara de plátano y cáscara de maíz.</p>	<p>seguido de la presión de 20 MPa y 10 MPa.</p> <p>*Al comparar las briquetas elaboradoras, con el carbón de leña, las briquetas presentaron altos contenidos de material volátil y cenizas, y poder calorífico más bajo que el carbón de leña. Sin embargo, los resultados encontrados mostraron buen comportamiento en términos de estabilidad.</p>
		<p>1. Recolección de materia prima.</p> <p>2. Secado en horno de la materia prima.</p> <p>3. Se realizó un proceso de pirolisis en la materia prima.</p> <p>4. Se mezcló el carbón con aglutinante.</p> <p>5. Se realizó la compresión del carbón en briquetas, usando una prensa hidráulica.</p> <p>6. Secado al sol de las briquetas durante 3 días.</p>			

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Kumar et al., 2022)	India	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado de la materia prima al sol durante una semana. 3. Se trituro la materia prima. 4. Se mezclo la materia prima con aglutinante. 5. Preparación de las briquetas usando una prensa de pistón. 6. Las briquetas se secaron al sol durante 7 días. 	<p>Mpa, la forma de la briqueta era cuadrada de 2 cm por cada lado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas estaban compuestas de hojas secas, cascara de arroz y aserrín en la siguiente proporción: (A) 100:0:0, (B) 0:100:0, (C) 60:20:20, (D) 20:60:20, (E) 30:30:40, (F) 0:50:50. 2. El aglutinante se preparó con almidón y agua. El almidón se hirvió a 70°C y se incorporó agua para su gelatinización. 3. Se mezclo 100 g de biomasa con 10% de aglutinante. 3. El molde para el briquetaje tenía 8 cm de diámetro y 15 cm de altura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: hojas secas, cáscara de arroz y aserrín. 	<p>*A menor tamaño de partícula, mayor densidad de las briquetas.</p> <p>*A medida que aumenta la composición de aserrín en las briquetas, disminuye la resistencia a la rotura obtenida.</p> <p>*A mayor tamaño de partículas, mayor absorción de agua, es decir menor resistencia a la penetración del agua.</p> <p>*El material volátil aumento con la adición de partículas de aserrín.</p> <p>*Si el carbono fijo aumenta, el poder</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Rahmawati et al., 2022)	Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado al sol durante 4 días. 3. Se carbonizó la materia prima, usando una lata grande con un agujero. 4. Se machaca y tamiza con un tamiz No. 4. 5. Se mezcla el polvo con aglutinante. 6. La mezcla se coloca en un molde de briqueta y se prensa hasta que este sólida. 	<p>4. La presión usada para la elaboración de las briquetas fue de 150 MPa y un tiempo de permanencia de 20-30 s.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas estaban compuestas por cáscara de plátano. 2. El aglutinante utilizado fue harina de sagú, variando su proporción en 5%, 10%, 15% de 100 g de carbón. Se mezcla harina de sagú en las diferentes proporciones con 25 ml de agua y se agita hasta que este mezclado, luego se pone a hervir 50 ml de agua 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proporción de aglutinante de 5, 10, 15%. 	<p>calorífico aumenta, debido a que son directamente proporcionales.</p> <p>*Si el material volátil disminuye, el carbono fijo aumenta.</p> <p>*El valor de la densidad afecta la velocidad de combustión y el poder calorífico de las briquetas.</p> <p>*Las briquetas elaboradas con 5% de aglutinante fueron las que tuvieron el mejor comportamiento, en todos los parámetros ensayados.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
<p>(Akolgo et al., 2021)</p>	<p>Ghana</p>	<p>7. Las briquetas se secan al sol durante 4 días.</p>	<p>y se introduce la mezcla anterior.</p>	<p>No se varió ningún parámetro</p>	<p>*El poder calorífico de las briquetas era mayor al de la madera seca. *Hubo una reducción del 14% y del 80% en las emisiones de Material Particulado (PM) y dióxido de carbono (CO), respectivamente, cuando se usó briquetas en comparación del carbón vegetal.</p>
		<p>1. Recolección de materia prima. 2. Carbonización en una estufa gasificadora de biomasa de alimentación múltiple, a una temperatura de 250°C durante 2 horas. 3. El carbón se enfrió y se vertió en un recipiente de almacenamiento. 4. Se roció agua sobre el carbón para que continuara enfriándose y para evitar que se volviera a encender. 5. El carbón se redujo de tamaño y se tamizó usando un tamiz de 0,2 mm. 6. El polvo se mezcló con el aglutinante.</p>	<p>1. Para elaborar las briquetas se utilizó una mezcla de cáscara de arroz, cáscara de coco y aserrín, no se especifican las proporciones. 2. El aglutinante utilizado fue almidón de yuca, la mezcla materia prima y aglutinante fue de 4:1. 3. El molde del prensador era de 30 mm de diámetro interno y 60 mm de altura.</p>		

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Kuhe et al., 2021)	Nigeria	7. Se compacto la mezcla con un prensador manual a una presión de 89,14 kN/M2.			*Entre mayor porcentaje de aglutinante, mayor densidad de las briquetas. *Entre mayor presión de compactación, mayor densidad de las briquetas. *A mayor tamaño de partícula, mayor índice de porosidad. *A mayor presión de compactación menor índice de porosidad. *A mayor presión de compactación, mayor tiempo de encendido. *A mayor tamaño de partícula, menor tiempo de encendido.
		1. Recolección de materia prima. 2. Trituración de materia prima. 3. Se mezclo la materia prima con el aglutinante. 4. La mezcla se compacto usando una prensa hidráulica. 5. Se secaron las briquetas a temperatura ambiente de 28°C entre 18 y 21 días.	1. Las briquetas estaban elaboradas 100% de cáscara de mijo. 2. El aglutinante utilizado fue goma arábica. 3. El molde para elaborar las briquetas era cilíndrico de 65mm de diámetro y 75 mm de largo.	1. Concentración del aglutinante, de 25%, 30%, 35% y 40% en peso. 2. Presión de compactación, entre 10 y 25 Mpa. 3. Tamaño de partícula.	

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Nagarajan & Prakash, 2021)	India	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado de materia prima. 3. Trituración de materia prima. 4. Se paso la materia prima por un horno carbonizador, construido artesanalmente, durante 40 min. 5. El carbón obtenido se tritura, hasta un tamaño aproximado de 1000 µm. 6. El polvo de carbón se mezcló con aglutinante. 7. Se compacto el material 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas tenían la proporción Caña de azúcar (S): Mazorca de maíz (C): Cascarilla de arroz (R), de la siguiente manera: (S1) 1:1:1, (S2) 1:2:1, (S3) 2:1:1, (S4) 1:1:2. 2. El aglutinante utilizado fue harina de trigo. 3. La longitud, diámetro y peso de las briquetas fueron de 4,90 cm, 2,20 cm y 12,60 g. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: caña de azúcar, mazorca de maíz y cascarilla de arroz. 	<p>*A mayor porcentaje de aglutinante, menor tasa de combustión.</p> <p>*A mayor presión de compactación, menor tasa de combustión.</p> <p>*La muestra S2 tuvo los mayores valores de densidad aparente, resistencia a la rotura y resistencia al volteo, con respecto a las otras muestras, lo cual se puede atribuir a una mayor presencia de mazorca de maíz.</p> <p>*La muestra S2 tuvo la mayor resistencia a la penetración del agua.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Afsal et al., 2020)	India	usando una máquina de briquetas artesanal. 1. Recolección de materia prima. 2. Secado al sol. 3. La materia prima seca se trituro para convertirla en forma de polvo fino. 4. El polvo fue mezclado con aglutinante. 5. La mezcla fue compactada en un molde cilíndrico elaborado en el laboratorio. 6. La briqueta se secó al sol durante 7 días.	1. Se ensayaron las siguientes composiciones de las briquetas: 100% de residuos de hortalizas; residuos de verduras: aserrín en proporción 75:25; residuos de hortalizas: aserrín en proporción 50:50; residuos de verduras: aserrín 25:75; aserrín 100%; jacinto de agua: racimo de fruta vacío 25:75; lodo de molino de aceite de palma: cascarilla de arroz 1:1; paja de frijol: mazorca de maíz 25:75; paja de arroz: hojas de caña de azúcar 50:50 2. Se uso como aglutinante	1. Materia prima para composición de briquetas: residuos de hortalizas, residuos de verduras, aserrín, jacinto de agua, racimo de fruta vacío, lodo de molino de aceite de palma, cascarilla de arroz, paja de frijol, mazorca de maíz, paja de arroz, hojas de caña de azúcar.	*La muestra S2 tuvo el mayor poder calorífico. *El poder calorífico de las briquetas mejoro al contener aserrín. Se observo un aumento del 12% en el poder calorífico. *El contenido de materia volátil se incrementó significativamente en las briquetas compuestas por aserrín, en comparación con las briquetas que solo contenían residuos. *A medida que aumentaba el contenido de aserrín aumentaba el contenido de humedad en las briquetas, esto indica el carácter hidrofílico del aserrín.

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Bayu et al., 2020)	Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. La materia prima se corta en trozos. 3. Secado al sol durante 3 días. 4. Carbonización de la materia prima. 5. Se tritura y tamiza el carbón. 6. Se mezcla el polvo de carbón con el aglutinante. 7. Se producen las briquetas. 	<p>la arcilla de bentonita.</p> <p>3. Se uso alta presión en el molde para briquetas y una permanencia de la mezcla de 5 min.</p> <p>1. Las briquetas estaban elaboradas de cáscaras de durián y nervadura de plátano, en las siguientes proporciones: (1) 50:50, (2) 60:40, (3) 70:30.</p> <p>2. El carbón se trituro y tamizo, para obtener partículas con tamaño de 250 y 104 μm.</p> <p>3. Para el aglutinante se utilizó harina de yuca y agua, en proporción 1:2.</p> <p>4. La carga de compactación para la briqueta fue de 19,6 kg, un</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: cáscara de durián y nervadura de plátano. 2. Tamaño de las partículas. 	<p>*Los mejores resultados se obtuvieron con proporción 70:30 de cáscara de durián y nervadura de Plátano, y tamaño de partícula de 250 μm.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Chungcharoen & Srisang, 2020)	Tailandia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recogió la materia prima. 2. Se molió y tamizó la cascara de cajú. 2. La cascara de nuez de Areca se cortó en fibras. 3. La materia prima se mezcló con el aglutinante. 4. La mezcla se pasó por la máquina de producción de briquetas, la cual tenía un cilindro compresor. 5. Las briquetas se secaron al sol a temperatura entre 34-36°C durante 1 semana. 	<p>diámetro de 3 cm y un espesor de 1 cm.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas tenían la proporción Cáscara de nuez de cajú (CNS): Cáscara de nuez de Areca (ANS): aglutinante, de la siguiente manera: (A)65:25:10, (B) 45:45:10, (C) 25:65:10, (D) 58:22:20, (E) 40:40:20, (F) 22:58:20. 2. El aglutinante era harina de yuca, se mezcló con 20% de agua y se hirvió hasta obtener una pasta uniforme. 3. El CNS fue obtenido de una fábrica y estaba semicarbonizado, es decir carbonizado a baja 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: cáscara de nuez de cajú y nuez de Areca. 2. Porcentaje de aglutinante. 3. Tamaño del CNS utilizado, tamaño pequeño, menor a 4,76 mm y grande, mayor a 4,76 mm. 	<p>*Se obtuvieron buenos resultados, sin tener que realizar el proceso de carbonización, aunque el CNS estaba semicarbonizado.</p> <p>*El aumento en el contenido de aglutinante de 10% a 20% aumentó el valor de dureza.</p> <p>*El aumento del contenido de ANS aumento la porosidad de las briquetas.</p> <p>*La mejor combinación fue la (A), con tamaño de CNS pequeño, se lograron producir 245 piezas/h, usando una velocidad de tornillo de 90 rpm, con</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Lubwama et al., 2020)	República de Uganda	1. Recolección de materia prima. 2. Limpieza de materia prima. 3. Secado de la materia prima al sol, durante 8 h. 4. La materia prima se carbonizó, en un carbonizador de acero. 5. El carbón se trituró y tamizó a tamaño de partícula menor de 15 mm. 6. Se mezcló las partículas de carbón con aglutinante. 7. La mezcla se comprimió en un molde metálico.	temperatura (alrededor de 300°C). 1. Se desarrollaron 4 categorías de briquetas: -categoría 1: compuestas de cáscara de café y cáscara de arroz, en las siguientes proporciones: (A)30:70, (B) 50:50, (C) 70:30, (D) 90:10. -categoría 2: compuestas de cáscara de café y cáscara de maní, en las siguientes proporciones: (E) 30:70, (F) 50:50, (G) 70:30, (H) 90:10. -categoría 3: cáscara de arroz y cáscara de maní, en las siguientes proporciones: (I) 30:70, (J) 50:50, (K) 70:30, (L) 90:10	1. Materia prima para composición de las briquetas: cáscara de café, cáscara de arroz y cáscara de maní. 2. Proporción del aglutinante utilizado, entre el 10% y 40%.	propiedades combustibles aceptables. *La conductividad termica mas alta, es decir, el flujo de calor más alto fue encontrado en las briquetas de la categoría 1. *A mayor porcentaje de almidón de Yuca como aglutinante, mayor poder calorífico y mayor resistencia a la caída.

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Osei et al., 2020)	República de Ghana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado de materia prima al sol a una temperatura ambiente de 31°C durante 10 días. 3. Se usaron contenedores 	<p>-categoría 4: cáscara de café, cáscara de arroz y cáscara de maní, en las siguientes proporciones: (M) 30:20:50, (N) 50:30:20, (O) 20:50:30, (P) 20:30:50.</p> <p>2. El aglutinante utilizado fue almidón de yuca en diferentes proporciones del 10% al 40%.</p> <p>3. El molde metálico era de 5 cm de diámetro interior y 8 cm de altura.</p> <p>1. Las briquetas estaban formadas por cascara de palmiste (<i>Elaeis guineensis</i>).</p> <p>2. Para el aglutinante se disolvió 20 g de almidón de yuca en un recipiente con</p>	No se varió ningún parámetro	<p>*El porcentaje de recuperación del biocarbón (después del proceso de carbonización) fue de 93,2%.</p> <p>*De 1398 g de carbón se obtuvieron 10 briquetas de</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Cao et al., 2019)	China	metálicos para realizar pirólisis. 4. Enfriamiento del carbón durante 40 min. 5. Pulverización del carbón con mortero a mano. 6. El carbón se tamizó usando un tamiz de 2 mm. 7. Se mezcló 135 g de carbón con una mezcla aglutinante. 8. Se realizó la compactación de la briqueta de forma manual con martillos y 2 cajas compresoras.	40 ml de agua fría, posteriormente se agregó 100 ml de agua caliente y se agitó, se mezcló con 135 g de carbón. 3. La briqueta tenía un grosor, altura y longitud de 2,5 cm, 6 cm y 10 cm, respectivamente.	1. Materia prima para composición de las briquetas: tallo de algodón	135 g cada una. *Las briquetas presentan ausencia de emisiones de humo y formación de cenizas. *Las briquetas son ambientalmente limpia y menos costosa de producir. *Las briquetas requirieron más (Afsal et al., 2020) tiempo y más combustible para encenderse que el carbón vegetal y la leña, pero, al encenderse produjeron un calor constante, se quemaron por más tiempo y no produjeron cenizas.
		1. Recolección de materia prima. 2. Secado de materia prima al	1. Las briquetas estaban compuestas de tallo de algodón y aserrín, en la		*La densidad aparente y la resistencia a la compresión de las briquetas, disminuyó

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Srisang et al., 2022b)	Tailandia	<p>sol.</p> <p>3. La materia prima se molió con una trituradora y se tamizó.</p> <p>4. La materia prima se comprimió usando un pistón-cilindro, convirtiéndose en briquetas.</p> <p>5. Se realizó la carbonización de las briquetas, usando un horno calentado eléctricamente.</p>	<p>siguiente proporción: (1) 5:0, (2) 4:1, (3) 3:2, (4) 2:3, (5) 1:4, (6) 0:5.</p> <p>2. Las briquetas de biomasa tenían 32 mm de diámetro.</p> <p>3. Se calentó el reactor de carbonización desde la temperatura ambiente hasta 600°C, aumentando de 5°C/min y se mantuvo esta temperatura hasta 30 min.</p>	<p>y aserrín.</p> <p>2. Temperatura de carbonización.</p>	<p>inicialmente y luego aumentó cuando la temperatura de carbonización aumentó de 400°C a 600°C.</p> <p>*A la misma temperatura, las briquetas elaboradas 100% con tallo de algodón mostraron mejores propiedades físicas que las elaboradas 100% con aserrín.</p>
		<p>1. Recolección de materia prima.</p> <p>2. Se quemaron todas las ramas con diámetros entre 1 y 6 cm en un horno de carbón vegetal a una temperatura de 1000°C durante 4 h.</p> <p>3. Las ramas quemadas se trituraron usando una</p>	<p>1. Se ensayaron briquetas 100% de madera de Madan (MW(100%)), 100% de cáscara de coco (CS(100%)) y mezclas entre las dos (MW:CS(80%:20%)) (MW:CS(50%:50%)).</p> <p>2. Como aglutinante se</p>	<p>1. Materia prima para composición de briquetas: Madera de Madan y Cáscara de coco.</p>	<p>*Las briquetas elaboradas 100% de madera de Madan presentaron excelentes resultados, pudiendo ser utilizadas para uso en cocina, en hogares o restaurantes.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Manyuchi et al., 2019)	África	<p>maquina trituradora, dejando partículas finas de alrededor 3mm.</p> <p>4. El polvo se mezcló manualmente con aglutinante.</p> <p>5. La mezcla se presionó usando un bloque de moldeo cilíndrico y se presiona con una prensa hidráulica.</p> <p>6. Las briquetas se dejaron secar al aire durante 7 días.</p>	<p>utilizó almidón de yuca y agua. Por cada 20 kg de carbón en polvo, se preparó una mezcla aglutinante de 1,4 kg de almidón de yuca y 6 lt de agua.</p> <p>3. El molde cilíndrico daba briquetas de carbón de 5 cm de diámetro externo, 1,5 cm de diámetro interno y 7 cm de longitud.</p>	<p>1. Tiempo de secado.</p> <p>2. Temperatura de carbonización entre 250 y 400°C.</p> <p>3. Presión del molde para producir briquetas, entre 2 y 8 Mpa.</p>	<p>*A medida que aumento el tiempo de secado, la cantidad de contenido de humedad disminuyó. Si el contenido de humedad es alto, las briquetas tardaran más en encenderse y la cantidad de calor generada será baja.</p> <p>*A medida que las</p>
		<p>1. Recolección de materia prima.</p> <p>2. Se realizo la carbonización de la materia prima, usando un reactor de acero inoxidable.</p> <p>3. Se trituró y tamizo el carbón.</p> <p>4. El polvo de carbón se mezcló con aglutinante.</p>	<p>1. Las briquetas estaban elaboradas con bagazo de caña de azúcar.</p> <p>2. El aglutinante utilizado fue melaza, la proporción melaza y carbón fue de 30:70.</p> <p>3. La presión del molde</p>		

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
		<p>5. Se compactaron las briquetas, usando un molde rectangular.</p> <p>6. Las briquetas se secaron al sol durante 7 días.</p>	<p>para producir briquetas vario entre 2 y 8 Mpa.</p>		<p>temperaturas de carbonización aumentaron, la cantidad de contenido de cenizas disminuyó significativamente en aproximadamente 69%. Los bajos contenidos de cenizas están relacionados con altos valores caloríficos.</p> <p>*A medida que las temperaturas de carbonización aumentaron, el contenido de carbono fijo aumento en un 385%. Entre mayor contenido de carbono fijo, mayor poder calorífico.</p> <p>*A medida que aumentaba la fuerza de compactación de las briquetas, aumentaba su densidad, la densidad</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Tippayawong et al., 2019)	Tailandia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima local. 2. Se seco al sol la biomasa y se almaceno en condiciones ambientales. 3. Carbonización de biomasa usando un reactor de pirólisis diseñado localmente. 4. Molienda del carbón. 5. Mezcla del polvo de carbón con aglutinante. 6. Compactación en briquetas usando una máquina de 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas estaban formadas por una mezcla de residuos de maíz, desechos de madera, hojas caídas secas, ramas, raíces y cortezas de poda de jardines y bosques. 2. El aglutinante fue harina de yuca y la proporción de la mezcla carbón: harina: agua fue de 20:1:7. 3. El molde de la briqueta fue hexagonal hueco de 10 	<p>Se realizo un análisis de costos, no se varió ningún parámetro técnico.</p>	<p>aumentó de 880 kg/m³ a 1100 kg/m³, con la menor y mayor presión estudiada. *A medida que aumentaba la presión de compactación, aumentaba el poder calorífico de las briquetas, en un 91%.</p> <p>*Se demostró que la conversión de residuos agrícolas y forestales en briquetas de carbón vegetal es rentable y ofrece una opción atractiva para el espíritu empresarial local y la promoción de la bioeconomía local.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Ku Ahmad et al., 2018)	Malasia	<p>extrusión.</p> <p>7. Tratamiento térmico de las briquetas usando una Cámara entre 80-120°C durante 12h.</p> <p>1. Recolección de materia prima.</p> <p>2. La materia prima se cortó en trozos pequeños y se mezcló en forma líquida con una licuadora eléctrica.</p> <p>3. Se prepararon briquetas usando una prensa hidráulica.</p> <p>4. Las briquetas se secaron en un horno a 60°C durante 48 horas.</p>	<p>mm de diámetro interior, 50 mm de diámetro exterior y aproximadamente 100 de largo.</p> <p>1. Las briquetas tenían la proporción cascara de banana: pseudotallo de banana: hojas secas de banana, de la siguiente manera: (1) 1:1:0, (2) 1:0:1, (3) 1:1:1, (4) 1:2:1, (5) 1:1:2, (6) 1:2:2.</p> <p>2. La prensa hidráulica se usó a 40 ton de presión.</p> <p>3 El molde de la prensa era de 60mmx60mmx60mm.</p>	<p>1. Materia prima para composición de briquetas: cáscara de banana, pseudotallo de banana, hojas secas de banana.</p>	<p>*No se realizó un proceso de carbonización.</p> <p>*No se utilizó un aglutinante adicional, la cáscara de banano tiene propiedades aglutinantes.</p> <p>*Las briquetas que estaban formada por la mezcla de la cascara, hojas secas y pseudotallo fueron más eficiente en comparación con briquetas de solo un desecho.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Wu et al., 2018)	China	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Triturado y tamizado de materia prima, hasta obtener un tamaño de partícula de 0,5 a 1 mm. 3. Se realizó un pretratamiento por dos métodos térmicos diferentes. 4. Se prepararon briquetas, usando un pistón-cilindro, con calentamiento. 5. Se realizó carbonización en algunas briquetas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se varió la composición de las briquetas, de la siguiente manera: (CS) tallo de algodón 100%, (WS) aserrín de madera de pino 100%. 2. Se realizaron 2 métodos térmicos: <ul style="list-style-type: none"> -Pretratamiento de torrefacción seca de biomasa: se realizó en un horno eléctrico calentada a escala de banco, la temperatura final varió (200, 230, 260 °C). -Pretratamiento hidrotermal de biomasa: se realizó en un autoclave de 500 ml. Las muestras se mezclaron con agua desionizada, la temperatura final varió 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materia prima para composición de las briquetas: tallo de algodón, aserrín. 2. Método térmico. 3. En algunas briquetas se realizó carbonización y en otras no. 	<p>*El proceso de torrefacción seca disminuye el contenido de humedad de las briquetas y da un ligero aumento del poder calorífico, pero, perjudica el proceso de densificación de la briqueta.</p> <p>*El proceso de pretratamiento hidrotérmico logra una mejora notable en el rendimiento de la densificación, la resistencia a la compresión y el poder calorífico.</p> <p>*Los mejores resultados en cuanto a propiedades físicas, se lograron en las briquetas carbonizadas que tenían pretratamiento</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Cahyono et al., 2017)	Indonesia	1. Recolección de materia prima. 2. Secado de materia prima. 3. Carbonización de materia prima. 4. Molienda de carbón y tamizaje usando tamiz No. 35. 4. Mezcla con aglutinante.	(200, 230, 260 °C). 3. En algunas briquetas se realizó carbonización en otras no. 1. Las briquetas estaban compuestas de cáscara de coco y cáscara de durián en proporción 1:1. 2. El aglutinante utilizado fue elaborado con semilla de durián, de la siguiente manera: -Lavado y secado en horno de semillas. -Molienda y tamizado,	1. Proporción de aglutinante de 4, 6, 8, 10 y 12%.	hidrotérmico a 230°C. *Las briquetas carbonizadas con pretratamiento hidrotérmico a 230°C cumplieron con el estándar europeo, por lo cual es una buena alternativa para la preparación de carbón para barbaoca sin aglutinante. *El aglutinante elaborado con la semilla del durián tiene potencial para ser utilizado en la producción de briquetas. *Los mejores resultados respecto al poder calorífico y las pruebas de resistencia a la compresión, se obtuvieron cuando el

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Zanella et al., 2017)	Brasil	5. Elaboración de briquetas. 6. Secado de briquetas.	usando tamiz No. 50. -Se mezcló el polvo con agua en proporción 1:10 bajo calentamiento a 70°C. Se varió la proporción de aglutinante de 4, 6, 8, 10 y 12% en peso de la briqueta. 3. Las briquetas tenían un diámetro interior de 3 cm y 6 cm de altura.		aglutinante estaba en 8% de proporción.
		1. Recolección de materia prima. 2. Se corto la materia prima en trozos de 1 cm ² . 3. Se deshidrató la materia prima en un horno a 105°C, durante 24 h. 4. Se carbonizó la materia prima a 450°C, durante 1 h. 5. Triturado del carbón vegetal en partículas entre 2 y	1. Las briquetas estaban compuestas 100% de bagazo de naranja. 2. Se usaron 3 tipos de aglutinante en diferentes proporciones: almidón de maíz industrial, (Pec 1) pectina con alto grado de esterificación, (Pec 2) pectina con bajo grado de esterificación. Las	1. Tipo de aglutinante. 2. Concentración de aglutinante. 3. Preparación de la mezcla aglutinante.	*Los mejores resultados se obtuvieron con el uso de 10% de almidón de maíz industrial, con características satisfactorias, por lo cual, se convierte en una alternativa al uso de combustibles fósiles.

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
		<p>4 mm.</p> <p>6. Mezcla con aglutinante.</p> <p>7. Se elaboraron las briquetas, utilizando un molde cilíndrico y una prensa hidráulica manual uniaxial.</p> <p>8. Las briquetas se deshidrataron en un horno a temperatura de 80°C durante 12 horas.</p>	<p>proporciones de aglutinante-carbón variaron en 5, 10 y 15%.</p> <p>3. Se prepararon 2 tipos de mezcla con el aglutinante:</p> <p>-En la primera, se mezclaba el aglutinante y el carbón y a esta se le añadía agua.</p> <p>-En la segunda, el aglutinante se mezcló primero con agua, y luego se agregaron las partículas de carbón a la mezcla.</p> <p>La cantidad de agua utilizada con los ligantes Pec 1 y Pec 2 fue de 50% agua/carbón, mientras que para el almidón de maíz industrial fue de 100% agua/carbón.</p> <p>4. La presión en la prensa para la elaboración de la</p>		

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Ndindeng et al., 2015)	Benín	1. Recolección de materia prima. 2. Molienda y tamizado de material. 3. Mezcla de la materia prima con agua. 3. Briqueteado de la materia prima con pistón hacia arriba. 4. Secado de las briquetas.	briqueta fue de 5 tf y el área de cada pieza fue de 2 cm ² .	Se realizaron 4 experimentos: -En el experimento 1, se varió la proporción cáscara-salvado, de la siguiente manera: 1:1, 1:2, 1:0, 0:1, 2:1. El tamaño de partícula fue fino, la temperatura del agua para hacer briquetas de 97°C y el método de secado al sol. -En el experimento 2, se varió el método de secado,	*El tamaño de las partículas de briquetas, es un factor importante, las briquetas de partículas grandes se desmoronaban, cuanto más fino es el tamaño de partícula, mayor es la durabilidad y densidad de la briqueta. *El salvado de arroz, actúa como un aglutinante, entre mayor fue la proporción de salvado, más duras eran las
			1. Las briquetas estaban formadas por cascara y salvado de arroz en diferentes proporciones. 2. Tanto la cáscara como el salvado se separaron en tres tamaños de partículas, grande mayor o igual a 1 mm, medio entre 0,301-0,99 mm, fino menor a 0,300 mm. 2. La materia prima se mezcló con agua caliente,		

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
			<p>en proporción agua: materia prima 3:5. 3. La presión de la briqueteadora fue de 7,74 Mpa.</p>	<p>de la siguiente manera: solo horno a 70°C, solo sol, sol y horno a 70°C. El tamaño de partícula fue fino, la temperatura del agua para hacer briquetas de 97°C y la proporción cáscara-salvado fue 1:1. -En el experimento 3, se varió el tamaño de partícula, de la siguiente manera: fino, medio, grande. La temperatura del agua para hacer briquetas de 97°C, la proporción cáscara-salvado 1:1 y el método de secado al sol. -En el experimento 4, se varió la temperatura del agua para hacer briquetas, de la siguiente manera: 97°C, 27°C. El tamaño de</p>	<p>briquetas, las briquetas con mayor dureza, fueron las elaboradas solamente con salvado. *Las briquetas secadas en condiciones ambientales fueron más duras que las secadas en horno, y que las secadas primero en horno y luego en condiciones ambientales. *La tasa de humedad fue mayor para las muestras secadas en el horno que para las secadas en condiciones ambientales. Por lo cual, una tasa más rápida de pérdida de humedad puede reducir la capacidad de las partículas para unirse durante el secado y disminuir su</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
(Nuriana et al., 2014)	Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de materia prima. 2. Secado al sol de la materia prima durante 3 días. 3. Se carbonizó la materia prima en un horno de carbonización. 4. El carbón se tamizo. 5. Se mezcló el carbón con aglutinante. 6. Se elaboró la briqueta, usando un briqueteador. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las briquetas estaban elaboradas 100% con cáscara de durián. 2. El aglutinante usado fue harina de maíz, se mezcló 60 g de harina de maíz con 200 ml de agua, se cocieron hasta hervir en una cantidad del 10% del peso de la briqueta. 3. Las briquetas eran 	<p>partícula fue fino, la proporción cáscara-salvado 1:1 y el método de secado al sol.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de carbonización entre 200 y 500°C. 2. Tamizado del carbón, usando tamices No. 80 (0,18 mm) y No. 100 (0,15 mm). 	<p>dureza.</p> <p>*Las briquetas producidas con agua caliente fueron más duras que las producidas con agua fría.</p> <p>*Cuanto mayor es el contenido de agua en la materia prima, menor es el peso del material después de la carbonización.</p> <p>*Cuanto mayor es la temperatura de carbonización, mayor es el contenido de carbono fijo, mayor el poder calorífico y menor el contenido de material volátil de las briquetas.</p>

Autor y año	Localización	Proceso	Parámetros utilizados	Parámetros variables	Principales hallazgos
			cilíndricas, con diámetro de 3,8 cm y 6,5 cm de alto.		*A mayor temperatura menor contenido de agua y menor contenido de cenizas en las briquetas. *A mayor temperatura mayor densidad de las briquetas. *Cuando se elaboraron las briquetas con tamaño de partículas que paso el tamiz No. 100, se tuvo una mayor resistencia a la compresión que las briquetas elaboradas con el material que paso el tamiz No. 80.

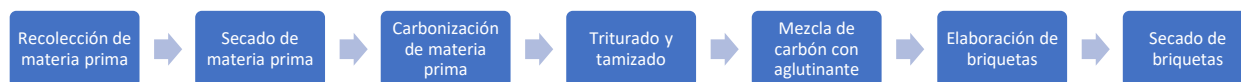
Fuente: Elaboración propia

Procesamiento.

En este apartado se sintetizará y agrupará la información de los documentos aceptados, por el procesamiento que realizaron a la materia prima. En la Figura 6, se puede evidenciar el procesamiento que fue mayormente encontrado en los artículos.

Figura 6

Proceso de elaboración de briquetas, a partir de residuos agrícolas y forestales.



Fuente: Elaboración propia

Recolección de materia prima.

El primer paso en todos los documentos encontrados era realizar la recolección de la materia prima, la mayoría era recolectada de cosechas, pero también de mercados locales y desechos de universidades.

Secado de la materia prima.

El paso siguiente de la recolección, en la mayoría de los artículos, era realizar un secado, con el fin de disminuir la humedad en la materia prima (Rahmawati et al., 2022). Dicho secado se hacía al sol, en condiciones ambientales o en horno. Se evidenció que cuando el secado era realizado en horno a temperaturas que oscilaban entre 60 y 105°C, el proceso era mucho más

rápido, tardando entre 8 y 24 horas (Kapen et al., 2022; Zanella et al., 2017). La mayoría de los autores realizaron el secado al sol, este proceso, tardaba en la mayoría de los casos entre 3 a 7 días (Bayu et al., 2020; Kumar et al., 2022; Nuriana et al., 2014; Rahmawati et al., 2022); también, se encontró autores que dejaban la materia prima secando al sol durante más de 1 semana (Adu-Poku et al., 2022; Osei Bonsu et al., 2020); y, solo un autor dejaba la materia prima secando al sol durante menos de 24 horas (Lubwama et al., 2020). también se encontraron documentos, en los cuales se mencionaba que existía un secado de la materia prima, sin embargo, no especificaban como se realizaba el proceso (Afsal et al., 2020; Cahyono et al., 2017; Cao et al., 2019; Nagarajan & Prakash, 2021; Tippayawong et al., 2019).

Carbonización de la materia prima.

En el procesamiento de la materia prima, la mayoría de los documentos encontrados realizaba una carbonización de la materia prima, antes de elaborar las briquetas, dicha carbonización se realizaba utilizando un horno de pirolisis, generalmente construido de forma artesanal con latas de acero. Este proceso de carbonización era realizado, con el fin de disminuir el agua y material volátil en la materia prima (Wu et al., 2018). Se encontró que la temperatura de carbonización en las diferentes investigaciones variaba en un rango bastante amplio, desde 200°C hasta 1000°C y con duración de entre 40 minutos a 8 horas (Bayu et al., 2020; Cahyono et al., 2017; Kapen et al., 2022b; Manyuchi et al., 2019; Nagarajan & Prakash, 2021; Nuriana et al., 2014; Zanella et al., 2017); también se encontraron muchos autores que no especificaban ni temperatura ni duración de la materia prima en el horno de pirolisis (Adu-Poku et al., 2022; Lubwama et al., 2020; Osei Bonsu et al., 2020); y, en el caso de (Rahmawati et al., 2022) indicaban que la materia prima debía permanecer en el horno hasta que no saliera más humo del mismo, esto

era indicador de que ya la materia prima se había convertido en carbón. En otras investigaciones se realizaba la carbonización usando una estufa gasificadora a 250°C, durante 2 horas (Akolgo et al., 2021); y, también se encontró el uso de un horno eléctrico a 600°C durante 30 minutos para realizar la carbonización (Srisang et al., 2022).

Se encontraron dos investigaciones, en las cuales, el proceso de carbonización se realizaba luego de que la briqueta ya estaba constituida, esto con el fin de densificar la briqueta y aumentar la resistencia a la compresión (Cao et al., 2019). En el estudio “Investigation on the physical properties of the charcoal briquettes prepared from wood sawdust and cotton stalk”, este proceso se realizaba en un horno de pirolisis durante 2 horas, hasta obtener humo azul del horno (Cao et al., 2019). Por su lado, Wu, Shang y Wang, utilizaron igualmente un horno de pirolisis a temperatura de 400°C, sin embargo, no indicaban la duración de las briquetas en el horno.

Triturado y tamizado.

Esta fase, en la mayoría de las investigaciones abordadas, se realizó luego del proceso de carbonización. Este proceso se realiza para facilitar la mezcla del polvo con el aglutinante, aumentar la superficie de unión con el aglutinante, darle forma a la briqueta y aumentar su resistencia a la caída (Lubwama et al., 2020; Tippayawong et al., 2019). Sin embargo, también se encontró una investigación que realizaba el triturado y tamizado a la materia prima, es decir antes de carbonización, esto con el fin de aumentar el área superficial durante la carbonización (Nagarajan & Prakash, 2021). Se encontró que, en la mayoría de los estudios, se trabajaba con un tamaño de partícula menor o igual a 1 mm (Akolgo et al., 2021; Cahyono et al., 2017; Cao et al., 2019; Manyuchi et al., 2019; Nagarajan & Prakash, 2021; Nuriana et al., 2014; Wu et al., 2018),

teniendo como límite inferior 0.1 mm (Bayu et al., 2020). También se encontraron estudios que trabajaban con un tamaño de partícula igual o mayor a 2 mm (Osei Bonsu et al., 2020; Rahmawati et al., 2022; Srisang et al., 2022; Zanella et al., 2017), teniendo como límite superior 15 mm (Lubwama et al., 2020).

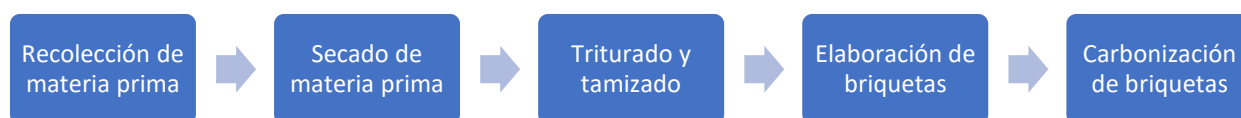
Mezcla de carbón con aglutinante.

En la mayoría de las investigaciones, se realizaba un mezclado con aglutinante antes de realizar la compactación del material en briquetas, esto debido a que el polvo de carbón vegetal es un material sin plasticidad, por lo cual no puede mantener ninguna forma, a través del aglutinante, se le da plasticidad al carbón para posteriormente compactar en briquetas (Adu-Poku et al., 2022). En esta sección no se va a hacer énfasis en los diferentes aglutinantes ensayados, por lo que esa información se concilia en el apartado Aglutinante. A pesar de que la mayoría de investigación utilizan aglutinante para poder compactar las briquetas, se encontraron los casos de (Cao et al., 2019; Wu et al., 2018), en los que se realizaba la carbonización al final del proceso y no se utilizaba aglutinante en ninguno de los pasos de la preparación de las briquetas, la línea base de procesamiento para obtención de briquetas de ambos estudios se puede observar en la

Figura 7.

Figura 7

Proceso de elaboración de briquetas, a partir de residuos agrícolas y forestales, usando carbonización luego de constituida la briqueta.



Fuente: Elaboración propia

Elaboración de briquetas.

En la mayoría de los estudios, las briquetas fueron elaboradas utilizando una prensa hidráulica manual, con presiones entre 5.7 Mpa y 150 Mpa (Akolgo et al., 2021; Kapen et al., 2022b; Kuhe et al., 2021; Kumar et al., 2022; Manyuchi et al., 2019; Ndindeng et al., 2015); muchos de estos estudios, en los cuales se utilizaban prensas hidráulicas manuales, no especificaban la presión de compactación de las briquetas. Otras maneras de compactar las briquetas encontradas en la literatura fueron: máquinas briqueteadoras artesanales (Chungcharoen & Srisang, 2020; Nagarajan & Prakash, 2021; Nuriana et al., 2014); máquina de extrusión

(Tippayawong et al., 2019); y, de forma manual, utilizando un martillo y dos cajas compresoras (Osei Bonsu et al., 2020).

Secado de briquetas.

En la mayoría de los artículos abordados realizaban como último paso el secado de las briquetas, mediante el secado, la superficie exterior de las briquetas se hace sólida y homogénea, otorgándole la dureza adecuada para soportar el transporte y almacenamiento (Adu-Poku et al., 2022). La mayoría de las investigaciones realizan el secado al sol, con tiempo de secado de 7 días (Afsal et al., 2020; Chungcharoen & Srisang, 2020; Kongprasert et al., 2019; Kumar et al., 2022; Manyuchi et al., 2019). También se encontraron dos autores que realizaron el secado al sol durante menos de una semana (Kapen et al., 2022b; Rahmawati et al., 2022); y, autores que realizaron el secado al sol durante 3 semanas (Adu-Poku et al., 2022; Kuhe et al., 2021). Se encontraron 3 investigaciones que realizaban el secado en horno, con temperaturas entre 60°C y 120°C y tiempos entre 12 y 48 horas (Ku Ahmad et al., 2018; Tippayawong et al., 2019c; Zanella et al., 2017).

Briquetas elaboradas sin carbonización.

Del procesamiento de las briquetas, se evidencio que cuatro de las investigaciones no realizaban en ninguna etapa carbonización de la materia prima. En la Figura 8, se generaliza las fases que siguieron dichos estudios para la elaboración de las briquetas (Afsal et al., 2020; Ku Ahmad et al., 2018; Kuhe et al., 2021; Kumar et al., 2022).

Figura 8

Procesamiento de briquetas sin carbonización de materia prima.



Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar el caso del estudio “Characterization of fuel briquettes from banana tree waste”, en el cual se omite el mezclado con aglutinante y en la fase de triturado y tamizado se realiza una mezcla líquida de los residuos en licuadora (Ku Ahmad et al., 2018).

Parámetros utilizados.

Materia prima.

En la Tabla 5, se realizó una compilación de la materia prima encontrada en las investigaciones y el número de repeticiones acompañada por la referencia de los documentos que la contenían.

Tabla 5

Materia prima utilizada en las investigaciones.

Materia prima utilizada	Cantidad	Referencia
Cáscara de arroz	7	(Adu-Poku et al., 2022; Afsal et al., 2020; Akolgo et al., 2021; Kumar et al., 2022; Lubwama et al., 2020; Nagarajan & Prakash, 2021; Ndindeng et al., 2015)
Cáscara de palmiste	2	(Adu-Poku et al., 2022; Osei Bonsu et al., 2020b)

Materia prima utilizada	Cantidad	Referencia
Aserrín	6	(Adu-Poku et al., 2022; Afsal et al., 2020; Akolgo et al., 2021; Cao et al., 2019; Kumar et al., 2022; Wu et al., 2018)
Mazorca de maiz	3	(Adu-Poku et al., 2022; Afsal et al., 2020; Nagarajan & Prakash, 2021)
Cáscara de platano	2	(Kapen et al., 2022; Rahmawati et al., 2022)
Cáscara de maiz	2	(Kapen et al., 2022; Tippayawong et al., 2019)
Hojas secas	2	(Kumar et al., 2022; Tippayawong et al., 2019)
Cáscara de coco	3	(Akolgo et al., 2021; Cahyono et al., 2017; Kongprasert et al., 2019)
Cáscara de mijo	1	(Kuhe et al., 2021)
Hojas de caña de azucar	1	(Nagarajan & Prakash, 2021)
Residuos de hortalizas	1	(Afsal et al., 2020)
Residuos de verduras	1	(Afsal et al., 2020)

Materia prima utilizada	Cantidad	Referencia
Jacinto de agua	1	(Afsal et al., 2020)
Racimo de fruta vacio	1	(Afsal et al., 2020)
Paja de frijol	1	(Afsal et al., 2020)
Paja de arroz	1	(Afsal et al., 2020)
Cáscara de durián	3	(Bayu et al., 2020; Cahyono et al., 2017; Nuriana et al., 2014)
Nervadura de plátano	1	(Bayu et al., 2020)
Cáscara de nuez	1	(Chungcharoen & Srisang, 2020)
Cáscara de café	1	(Lubwama et al., 2020)
Cáscara de mani	1	(Lubwama et al., 2020)
Tallo de algodón	2	(Cao et al., 2019; Wu et al., 2018)
Madera	2	(Srisang et al., 2022b; Tippayawong et al., 2019)

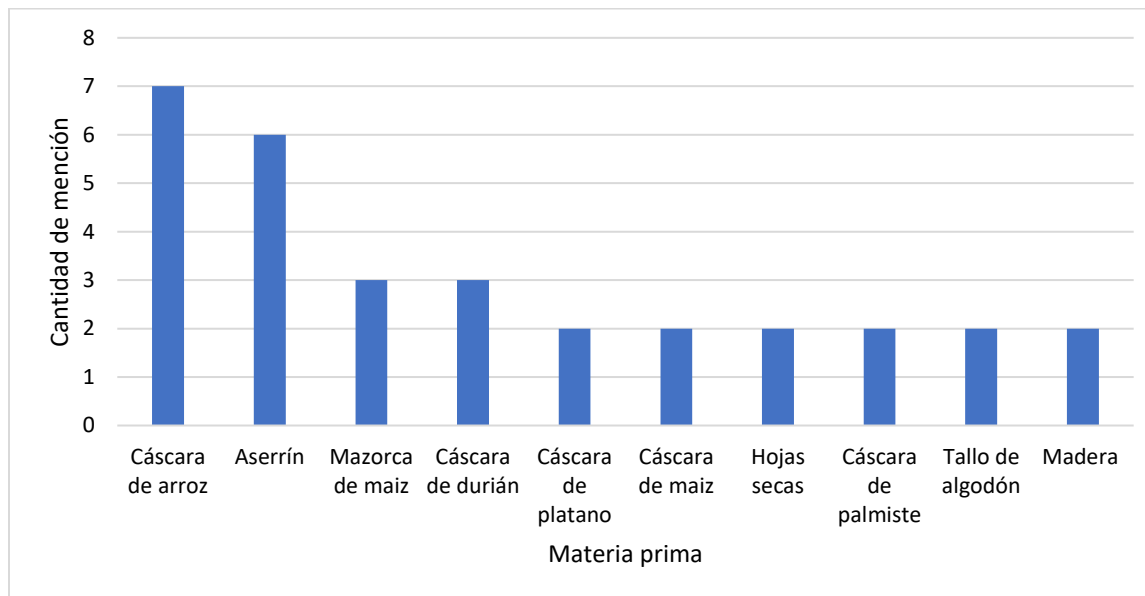
Materia prima utilizada	Cantidad	Referencia
Bagazo de caña de azucar	1	(Manyuchi et al., 2019)
Corteza de poda	1	(Tippayawong et al., 2019)
Cáscara de banano	1	(Ku Ahmad et al., 2018)
Pseudotallo de banano	1	(Ku Ahmad et al., 2018)
Hojas secas de banano	1	(Ku Ahmad et al., 2018)
Bagazo de naranja	1	(Zanella et al., 2017)
Salvado de arroz	1	(Ndindeng et al., 2015)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 9, la materia prima que fue mayormente utilizada para realizar las briquetas en los diferentes estudios analizados fue la cáscara de arroz, con 7 documentos, seguido del aserrín, con 6 documentos, luego, la mazorca de maíz y la cascara de durián, con 3 documentos y la cascara de plátano, cascara de maíz, hojas secas, cascara de palmiste, tallo de algodón y madera con 2 documentos.

Figura 9

Principales materias primas utilizadas en las investigaciones.



Fuente: Elaboración propia

Cabe aclarar, que muchos autores ensayaban mezclas de las diferentes materias primas en distintas proporciones.

Aglutinante.

Debido a que el carbón vegetal es un material sin plasticidad, el polvo de carbón vegetal no puede mantener su forma sin algunos aglutinantes (Adu-Poku et al., 2022). En esta sección vamos a ver los distintos aglutinantes que fueron encontrados en los estudios.

En la Tabla 6, se presentan los aglutinantes encontrados, la cantidad de repeticiones y los estudios en los cuales se mencionan.

Tabla 6

Aglutinantes utilizados en las investigaciones.

Aglutinante.	Cantidad	Referencia
Harina de yuca	4	(Adu-Poku et al., 2022; Bayu et al., 2020; Chungcharoen & Srisang, 2020; Tippayawong et al., 2019)
Almidón de yuca	5	(Akolgo et al., 2021; Kapen et al., 2022; Lubwama et al., 2020; Osei Bonsu et al., 2020; Srisang et al., 2022)
Harina de sagú	1	(Rahmawati et al., 2022)
Goma arábica	1	(Kuhe et al., 2021)
Harina de trigo	1	(Nagarajan & Prakash, 2021)
Arcilla de bentonita	1	(Afsal et al., 2020)
Melaza	1	(Manyuchi et al., 2019)
Polvo de semilla de durián	1	(Cahyono et al., 2017)

Aglutinante.	Cantidad	Referencia
Almidón de maíz	1	(Zanella et al., 2017)
Agua	1	(Ndindeng et al., 2015)
Harina de maíz	1	(Nuriana et al., 2014)

Fuente: Elaboración propia

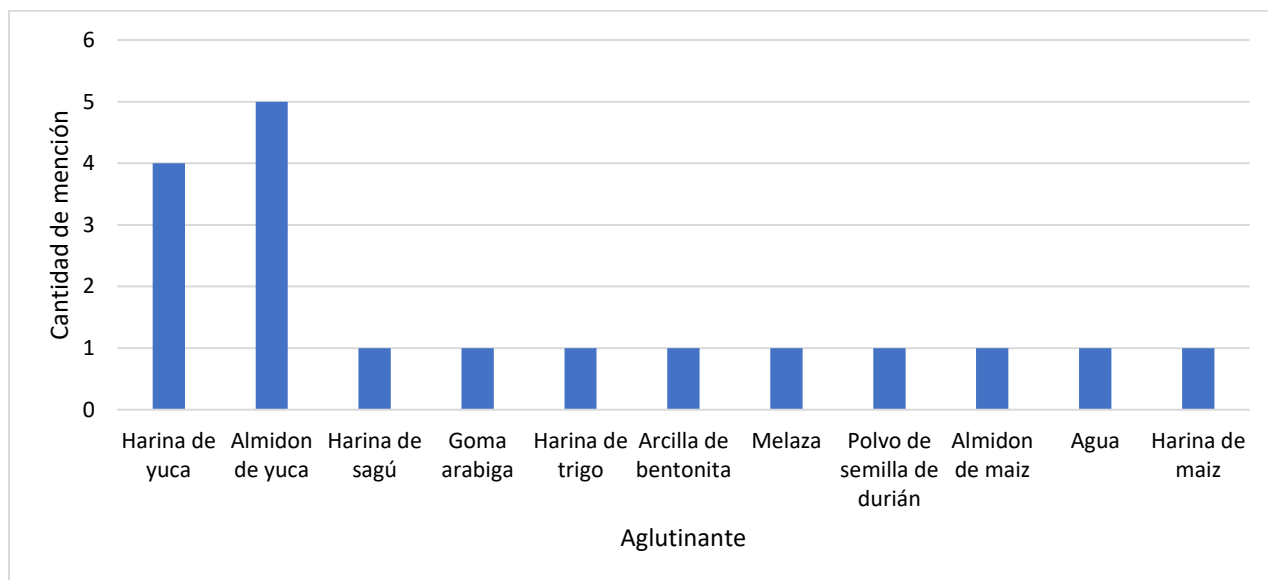
En Figura 10, se grafica los aglutinantes y se evidencia los más usados, que son la harina de yuca y el almidón de yuca. La harina de yuca se obtiene de la molienda de la pulpa seca de la raíz de la pulpa, mientras que el almidón de yuca se obtiene de extraer el jugo de la pulpa de la yuca y dejar que sedimente la parte sólida. En el estudio “Characterization of fuel and mechanical properties of charred agricultural wastes: Experimental and statistical studies”, en el cual se utiliza harina de yuca, se menciona que este material contiene un alto contenido de almidón y amilosa natural e inofensivo, el cual tiene un buen rendimiento para unir firmemente los finos de carbón y formar las briquetas, además, como ventaja, mencionan que, la harina de yuca tiene una capacidad de retención de agua baja lo cual permite que sea estable en cierto rango de temperatura y que no produzca humo durante la cocción (Adu-Poku et al., 2022).

Por otro lado, en el estudio “Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests”, en el cual, utilizan almidón de yuca como aglutinante, mencionan que lo usan debido a su disponibilidad, bajo

consumo de energía y facilidad de preparación, además que también posee la propiedad de no producir humo (Akolgo et al., 2021).

Figura 10

Aglutinantes utilizados en la investigación.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados.

En la Tabla 7, se compiló los resultados obtenidos de los distintos estudios, respecto a los parámetros consolidados en la Tabla 1, los cuales son exigidos por las diferentes normativas, tanto nacional como internacional.

Tabla 7

Calidad de las briquetas encontradas en las investigaciones.

Análisis

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Madera de Madan (100%)	27,71	7,80	20,30	3,90	68,00	
Madera de Madan: Cascara de coco (80%:20%)	26,88	9,40	18,40	4,20	68,00	(Srisang et al., 2022)
Madera de Madan: Cascara de coco (50%:50%)	26,55	11,60	13,40	4,20	70,80	
Cascara de coco (100%)	26,40	11,70	11,50	4,50	72,30	
Cascara de palmiste (100%)	20,27	1,08	71,80	0,06	27,07	(Osei Bonsu et al., 2020)

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Residuos de hortalizas (100%)	14,00	3,40	71,72	3,22	21,66	
Residuos de mercado de verduras: aserrín (75:25)	14,46	3,90	74,88	3,15	18,07	
Residuos de hortalizas: aserrín (50:50)	14,88	4,10	77,75	3,03	15,12	(Afsal et al., 2020)
Residuos de verduras: aserrín (25:75)	15,72	4,40	83,20	2,10	10,30	
Aserrín (100%)	14,91	6,80	78,20	1,40	13,60	
Jacinto de agua: racimo de fruta vacío (25:75)	17,17	9,30	80,30	3,73	15,97	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Lodo de molino de aceite de palma: cascarilla de arroz (50:50)	21,68	10,42	76,23	15,13	8,64	
Paja de frijol: mazorca de maíz (25:75)	17,30	-	79,90	3,00	17,10	
Paja de arroz: hojas de caña de azúcar (50:50)	17,83	4,22	74,67	9,07	13,63	
Cáscara de palmiste (100%)	20,84	3,5	76,5	2,7	17,3	
Cáscara de arroz (100%)	19,79	5,5	67,1	6,8	20,6	(Adu-Poku et al., 2022)
Mazorca de maíz (100%)	20,29	4,1	73,8	3,9	18,2	
Aserrín (100%)	20,17	5,9	10,6	3,2	20,3	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Cáscara de banano: Pseudotallo banano (1:1)	19,16	13,21	86,46	13,54	-	
Cáscara de banano: hoja seca de banano (1:1)	13,25	19,16	70,97	29,02	-	
Cáscara de banano: pseudotallo de banano: hoja seca de banano (1:1:1)	15,46	14,93	85,66	14,34	-	(Ku Ahmad et al., 2018)
Cáscara de banano: pseudotallo de banano: hoja seca de banano (1:2:1)	11,58	17,53	71,88	28,11	-	
Cáscara de banano: pseudotallo de banano: hoja seca de banano (1:1:2)	13,16	16,41	75,44	24,56	-	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Cáscara de banano: pseudotallo de banano: hoja seca de banano (1:2:2)	21,75	11,89	81,23	18,77	-	
Cáscara de arroz, cáscara de coco y aserrín (no se especifican proporciones)	24,9	7,3	61,38	5,6	25,72	(Akolgo et al., 2021)
Caña de azucar: Mazorca de maíz: Cascarilla de arroz (1:1:1)	26,68	5,77	9,48	34,09	50,66	(Nagarajan & Prakash, 2021)
Caña de azucar: Mazorca de maíz: Cascarilla de arroz (1:2:1)	27,07	5,97	14,34	32,06	47,63	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Caña de azúcar:						
Mazorca de maíz:	26,48	6,02	11,09	33,85	49,04	
Cascarilla de arroz, (2:1:1)						
Bagazo de Caña de azúcar:						
Mazorca de maíz:	26,58	8,87	16,06	35,17	39,9	
Cascarilla de arroz, (1:1:2)						
Bagazo de caña de azúcar (100%)	28,2	6,3		1,4	74,6	(Manyuchi et al., 2019)
Cáscara de Durián (100%)	26,25	0,01	3,94	18,18	77,87	(Nuriana et al., 2014)
Cáscara de mijo (100%)	16,13	6,4	51,1	5,2	37,3	(Kuhe et al., 2021)

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Hojas secas (100%)	20,03	7,5	58	8,5	25	
Cáscara de arroz (100%)	18,83	6,5	62	11,5	22	
Hojas secas: cáscarilla de arroz: aserrín (60:20:20)	18,41	8	68	9	17	
Hojas secas: cáscarilla de arroz: aserrín (20:60:20)	17,99	7,5	64	13,8	15	(Kumar et al., 2022)
Hojas secas: cáscarilla de arroz: aserrín (30:30:60)	16,52	5	68	15,2	13	
Cáscarilla de arroz: aserrín (50:50)	17,99	8	70	11	13	
Cáscara de café: cáscara de arroz (30:70)	22	10,98	29,81	28,97	30,24	(Lubwama et al., 2020)

Material	Poder calórico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Cáscara de café: cáscara de arroz (50:50)	18	11,43	30,69	24,1	33,77	
Cáscara de café: cáscara de arroz (70:30)	17	13,72	34,82	15,87	35,59	
Cáscara de café: cáscara de arroz (90:10)	20	12,27	39,45	12,21	36,07	
cáscara de café: cáscara de maní (30:70)	22	12,62	38,84	12,53	36,01	
cáscara de café: cáscara de maní (50:50)	21,7	15,1	33	15,09	36,8	
cáscara de café: cáscara de maní (70:30)	21,9	14,05	36,61	12,02	37,32	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
cáscara de café: cáscara de maní (90:10)	18	13,23	35,09	14,25	37,42	
cáscara de arroz: cáscara de maní (30:70)	18,2	18,71	33,01	16,82	31,45	
cáscara de arroz: cáscara de maní (50:50)	17,8	22,39	27,98	20,08	29,54	
cáscara de arroz: cáscara de maní (70:30)	16,6	11,48	30,34	28,26	29,93	
cáscara de arroz: cáscara de maní (90:10)	21,5	11,39	24,61	34,61	29,39	
cáscara de café: cáscara de arroz: cáscara de maní (30:20:50)	17,8	23,67	26,4	19,42	30,51	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
cáscara de café: cáscara de arroz: cáscara de maní (50:30:20)	17,5	14,77	28,91	21,17	35,15	
cáscara de café: cáscara de arroz: cáscara de maní (20:50:30)	18,3	25,62	25,67	23	25,7	
cáscara de café: cáscara de arroz: cáscara de maní (20:30:50)	18	16,38	30,75	14,88	37,99	
Cáscara de platano (100%)	16,64		23,6	29,74	46,3	
Cáscara de maíz (100%)	16,92		23,61	29,22	47,01	(Kapen et al., 2022)
Cáscara de platano: cáscara de maíz (50:50)	17,24		18,56	35,76	45,67	

Material	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Contenido de materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Referencia
Cáscara de plátano (100%)	45,28	8,46	46,97	27,85	16,72	(Rahmawati et al., 2022)
Tallo de algodón (100%)	20,2	10,2	77	2,1	23	(Wu et al., 2018)
Cáscara de coco: cáscara de durián (1:1)	25,86	5,31	7,79	9,94	75,92	(Cahyono et al., 2017)

Nota. Los valores resaltados con negrilla son los parámetros que no están cumpliendo con el valor crítico de la normativa nacional e internacional.

Fuente: Elaboración propia

Poder calorífico.

El poder calorífico es la cantidad de energía por kilogramo como resultado de la combustión y es un parámetro muy importante para establecer la calidad de las briquetas (Kongprasert et al., 2019). En la NTC 2060 se encontró como valor mínimo para este parámetro 12,5 MJ/kg y como se observa en la Tabla 7, tan solo una configuración de un estudio no cumplió

con dicho parámetro, la configuración que no cumplió fue “Cáscara de banano: pseudotallo de banano: hoja seca de banano (1:2:1)” (Ku Ahmad et al., 2018). El promedio de valor calorífico encontrado fue de 20,20 MJ/kg, lo cual es un buen indicador de que las briquetas tienen un buen poder calorífico, por encima de lo exigido en la NTC 2060.

Contenido de humedad.

El contenido de humedad es la cantidad de agua que existe en las briquetas, un alto contenido de humedad reduce el poder calorífico y aumenta el peso de la briqueta. El agua se evaporará primero, lo que influirá en las propiedades generales de calentamiento de la briqueta (Kongprasert et al., 2019). La EN-1860-2:2005 establece un valor máximo de 8%, mientras que la NTC 2060 es más exigente, estableciendo un valor máximo de 2.5%, teniendo en cuenta el valor crítico solamente 2 investigaciones lograron cumplir. Se evidencia que las dos configuraciones que cumplieron utilizan solamente una materia prima, en una es cáscara de palmiste y en la otra es cáscara de durián (Nuriana et al., 2014; Osei Bonsu et al., 2020). También, se menciona que el proceso de secado juega un papel importante en la reducción del contenido de humedad (Kongprasert et al., 2019), las dos investigaciones que cumplieron no hacen referencia a un secado de la briqueta y mencionan secado de la materia prima de 10 y 3 días (Nuriana et al., 2014; Osei Bonsu et al., 2020).

Contenido de materia volátil.

La materia volátil está compuesta de gases combustibles como hidrogeno, monóxido de carbono, metano y gases que no se queman como CO₂ y H₂O. Estos gases generan impacto sobre la perfección de la combustión y la intensidad del fuego, una briqueta con alta volatilidad generará

una gran cantidad de humo (Kongprasert et al., 2019). La NTC 2060 establece como valor máximo de este parámetro 15%, mientras que no se encontró datos en la EN-1860-2:2005. Con base en lo establecido en la normativa, se encontró que tan solo 8 configuraciones de probetas se encontraban cumpliendo. Los materiales encontrados en dichas configuraciones fueron: madera de Madan, cáscara de coco, aserrín, cáscara de durián, caña de azúcar, mazorca de maíz y cascarilla de arroz.

Contenido de ceniza.

La ceniza es el residuo que queda después de que la briqueta se quema por completo, tener un bajo contenido de ceniza está relacionado con un alto calentamiento (Kongprasert et al., 2019). El valor crítico de las 2 normativas comparadas es máximo del 18%. De manera satisfactoria se encontró que la mayoría de las configuraciones cumplían con el parámetro, teniendo un promedio de 14.80%.

Carbono fijo.

El carbono fijo es una medida del material combustible sólido después de la expulsión del material volátil. La cantidad de carbono fijo actúa como generador de calor durante la combustión, cuanto mayor sea el carbono fijo en las briquetas, mejor será la calidad de estas (Kongprasert et al., 2019). La EN 1860-2:2005 establece como valor mínimo de este parámetro 60%. Tan solo 7 configuraciones de briquetas están cumpliendo con dicho requisito. Los materiales que componen dichas briquetas fueron: cáscara de coco, cáscara de durián, bagazo de caña de azúcar y madera de madan. Cabe mencionar que el procesamiento de todas las briquetas que cumplían fue el convencional, establecido en la Figura 6.

Briquetas sin carbonización.

Se encontró que las briquetas elaboradas sin una etapa de carbonización tenían un contenido de material volátil muy alto y un contenido de carbono fijo muy bajo, este resultado está en concordancia con lo expresado por (Wu et al., 2018) “el proceso de carbonización es realizado, con el fin de disminuir el agua y material volátil en la materia prima”. En los otros parámetros estudiados, estas briquetas tenían buenos resultados.

Conclusiones.

Mediante la presente investigación se encontró que existen varias investigaciones relacionadas con la utilización de residuos agrícolas y forestales para la obtención de combustible, sin embargo, son muy pocas las que utilizaron estos residuos para elaborar briquetas para uso de cocina. Los países con mayores investigaciones encontradas fueron Indonesia, Tailandia y China, estos países del continente asiático, tienen la agricultura como uno de los motores de su crecimiento económico y por consiguiente, tienen grandes cantidades de desechos generados de esta industria (Banco Trade Markets, 2022). Tan solo se encontró una investigación en Brasil relacionada con el uso de briquetas para cocina (Zanella et al., 2017).

El procesamiento que obtuvo los mejores resultados fue el convencional, graficado en la Figura 6, las briquetas elaboradas sin proceso de carbonización presentaban un contenido de material volátil muy alto y un bajo contenido de carbono fijo, en todas las configuraciones ensayadas (Afsal et al., 2020; Ku Ahmad et al., 2018; Kuhe et al., 2021; Kumar et al., 2022). Por lo anterior, no se recomienda omitir el paso de carbonización en la elaboración de las briquetas.

No se encontró ninguna configuración de briqueta que cumpliera con todos los requisitos establecidos tanto en la NTC 2060 norma nacional, como en la EN 1860-22005 norma internacional, sin embargo, el parámetro que mayormente incumplía era el de contenido de humedad, el cual se puede modificar fácilmente aumentando los tiempos de secado tanto de la materia prima como de las briquetas o aumentando la temperatura de secado a través de hornos.

Se obtuvieron 5 configuraciones que cumplieran con 4 de los 5 requisitos normativos, y de estas 5 configuraciones, 4 incumplían en el parámetro de contenido de humedad y una en el parámetro de contenido de cenizas. Se evidencio que 3 de las 5 configuraciones que tuvieron los mayores desempeños utilizaban cáscara de coco con porcentaje igual o mayor a 50% y que 3 de las 5 configuraciones usaban materia prima de un solo tipo (Cahyono et al., 2017; Manyuchi et al., 2019; Nuriana et al., 2014; Srisang et al., 2022). Dado los resultados anteriores y considerando que en Colombia existe una producción de coco que en 2019 fue de 145.578 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020), se recomienda el uso de los residuos de este cultivo para la elaboración de briquetas.

Los aglutinantes utilizados en las configuraciones de las briquetas que cumplieran con la normativa fueron: almidón de yuca, melaza, polvo de semilla de durián y harina de maíz, todas estas sustancias son obtenidas de cultivos que se encuentran en Colombia, sin embargo, todas tienen fines alimenticios, lo cual no se aconseja. Se recomienda buscar una alternativa de aglutinante que también sea considerado un “residuo” de alguna de las industrias que se tienen en Colombia.

A pesar de que ninguna configuración cumplía con el 100% de requisitos establecidos en las normas, se encontró que las briquetas elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales pueden ser una alternativa potencial para reemplazar el uso de briquetas de carbón mineral y/o de briquetas de carbón vegetal obtenidas de la desforestación de los bosques para uso de cocina. Con la producción de estas briquetas ecológicas se podría generar un uso de muchos residuos que hoy en día son quemados o tirados en canales de agua y que generan un gran impacto ambiental en el país.

Se recomienda aumentar las investigaciones de este tema en Colombia y ensayar con varios tipos de materia prima y aglutinante no comestible, para lograr tener un diseño óptimo de briquetas y empezar una producción a gran escala.

Bibliografía.

- Adam, S. N. F. S., Aiman, J. H. M., Zainuddin, F., & Hamdan, Y. (2021). Processing and Characterisation of Charcoal Briquettes Made from Waste Rice Straw as A Renewable Energy Alternative. *Journal of Physics: Conference Series*, 2080(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2080/1/012014>
- Adu-Poku, K. A., Appiah, D., Asosega, K. A., Derkyi, N. S. A., Uba, F., Kumi, E. N., Akowuah, E., Akolgo, G. A., & Gyamfi, D. (2022). Characterization of fuel and mechanical properties of charred agricultural wastes: Experimental and statistical studies. *Energy Reports*, 8, 4319–4331. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.03.015>
- Afsal, A., David, R., Baiju, V., Muhammed Suhail, N., Parvathy, U., & Rakhi, R. B. (2020). Experimental investigations on combustion characteristics of fuel briquettes made from vegetable market waste and saw dust. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3826–3831. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.222>
- Akolgo, G. A., Awafo, E. A., Essandoh, E. O., Owusu, P. A., Uba, F., & Adu-Poku, K. A. (2021). Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests. *Scientific African*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00789>
- Amarasekara, A., Tanzim, F. S., & Asmatulu, E. (2017). Briquetting and carbonization of naturally grown algae biomass for low-cost fuel and activated carbon production. *Fuel*, 208, 612–617. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.034>
- Balaguer, V. (2019). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIOCHAR DE 16 ESPECIES CRECIENDO EN PLANTACIONES DE RÁPIDO CRECIMIENTO EN COSTA RICA.*
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Simbara, A. T., Mudzakir, A., & Maryanti, R. (2020). Improving the Learning Process in Producing Bio-charcoal Briquettes from Durian Peels/Banana Midrib

with Various Particle Sizes and Composition to High School Students. In *Journal of Engineering Education Transformations* (Vol. 34).

Bhattacharya, S. C., Seit, S., & Shrestha, R. M. (1989). *TWO APPROACHES FOR PRODUCING BRIQUETTED CHARCOAL FROM WASTES AND THEIR COMPARISON* (Vol. 15, Issue 6).

Cahyono, R. B., Santoso, J., & Miliati, R. (2017). Biomass briquettes using Indonesia durian seeds as binder agent: The effect of binder concentration on the briquettes properties. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1663–1668. <https://doi.org/10.3303/CET1756278>

Cao, Z., Zhang, S., Wang, C., Jiang, F., Huang, X., Li, H., Zhang, Y., & Lyu, J. (2019). Investigation on the physical properties of the charcoal briquettes prepared from wood sawdust and cotton stalk. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 41(4), 493–500. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1520332>

Chungcharoen, T., & Srisang, N. (2020). Preparation and characterization of fuel briquettes made from dual agricultural waste: Cashew nut shells and areca nuts. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120434>

Coates, W. (1999). *Using cotton plant residue to produce briquettes*. www.elsevier.com/locate/biombioe

Conforto, E. C., & da Silva, S. L. (2011). *Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos*. <https://www.researchgate.net/publication/267380020>

Demirbas, A. (1999). Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. In *Energy* (Vol. 24).

Demirbas, A., Ahmad, W., Alamoudi, R., & Sheikh, M. (2016). Sustainable charcoal production from biomass. In *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*

(Vol. 38, Issue 13, pp. 1882–1889). Taylor and Francis Inc.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2014.1002955>

EN. (n.d.). EN-1860-2. 2005.

FAO. (2014). *Residuos agrícolas y residuos ganaderos*.

Ferronato, N., Calle Mendoza, I. J., Gorritty Portillo, M. A., Conti, F., & Torretta, V. (2022). Are waste-based briquettes alternative fuels in developing countries? A critical review. In *Energy for Sustainable Development* (Vol. 68, pp. 220–241). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.03.013>

Fikri, E., & Sartika, C. (2018). Study on the use and composition of bio-charcoal briquettes made of organic waste. *Journal of Ecological Engineering*, 19(2), 81–88.
<https://doi.org/10.12911/22998993/81782>

Gladstone, S., Tersigni, V., Kennedy, J., & Haldeman, J. A. (2014). Targeting briquetting as an alternative fuel source in Tanzania. *Procedia Engineering*, 78, 287–291.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.069>

Gómez, J., Sánchez, Ó., & Matallana, L. (2019). View of Urban, Agricultural and Livestock Residues in the Context of Biorefineries. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28, 7–32.
<https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9705>

Gunawan, S., Nursanni, B., Suprpto, & Januariyansah, S. (2022). The utilization of biomass waste as charcoal briquette to reduce waste disposal. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012086>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación*. Ciudad de Mexico : Mc Graw Hill.

- Hoseini, M., Cocco, S., Casucci, C., Cardelli, V., & Corti, G. (2021). Coffee by-products derived resources. A review. In *Biomass and Bioenergy* (Vol. 148). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>
- Hosier, R., & Svenningson, P. J. (1987). Biomass Briquettes in the Dominican Republic Part I: Social and Economic Feasibility. In *Biomass* (Vol. 13).
- Kapen, P. T., Tenkeu, M. N., Yadjie, E., & Tchuen, G. (2022a). Production and characterization of environmentally friendly charcoal briquettes obtained from agriculture waste: case of Cameroon. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(6), 5253–5260. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03497-7>
- Kapen, P. T., Tenkeu, M. N., Yadjie, E., & Tchuen, G. (2022b). Production and characterization of environmentally friendly charcoal briquettes obtained from agriculture waste: case of Cameroon. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(6), 5253–5260. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03497-7>
- Kluska, J., Ochnio, M., & Kardaś, D. (2020). Carbonization of corncobs for the preparation of barbecue charcoal and combustion characteristics of corncob char. *Waste Management*, 105, 560–565. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.036>
- Kongprasert, N., Wangphanich, P., & Jutilarptavorn, A. (2019). Charcoal briquettes from Madan wood waste as an alternative energy in Thailand. *Procedia Manufacturing*, 30, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.019>
- Koser, H., Siemers, W., & Stuvén, U. (1982). TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF CHARCOAL AND DENSIFIED FUEL FROM WATER HYACINTHS AND COTTON STALKS. In *Fuel Processing Technology* (Vol. 7).
- Ku Ahmad, K., Sazali, K., & Kamarolzaman, A. (2018). Characterization of fuel briquettes from banana tree waste. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 5). www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings2214-7853

- Kuhe, A., Terhemba, A. V., & Iortyer, H. (2021). Biomass valorization for energy applications: A preliminary study on millet husk. *Heliyon*, 7(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07802>
- Kumar, A., Mech, N., Ramesh, S. T., & Gandhimathi, R. (2022). Evaluation of composite briquettes from dry leaves in energy applications for agrarian communities in India. *Journal of Cleaner Production*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131312>
- Lubwama, M., Yiga, V. A., Muhairwe, F., & Kihedu, J. (2020). Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources. *Renewable Energy*, 148, 1002–1016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.085>
- Mainimo, E. N., Okello, D. M., Mambo, W., & Mugonola, B. (2022). Drivers of household demand for cooking energy: A case of Central Uganda. *Heliyon*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09118>
- Malak, K., de La Seiglière, C., Fernández, C., Swaminathan, M., Sebastián, A., & Arora, D. (2016). Green Coal: A New Energy Source from Leaves. *Energy Procedia*, 100, 484–491. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.207>
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2019). Evaluating the usability of bio coal from sugar cane bagasse as a solid fuel. *Procedia Manufacturing*, 33, 516–521. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.064>
- Mwampamba, T. H., Owen, M., & Pigaht, M. (2013). Opportunities, challenges and way forward for the charcoal briquette industry in Sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.10.006>
- Nagarajan, J., & Prakash, L. (2021). Preparation and characterization of biomass briquettes using sugarcane bagasse, corncob and rice husk. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4194–4198. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.457>

- Napitupulu, R. A. M., Ginting, S., Naibaho, W., Sihombing, S., Tarigan, N., & Kabutey, A. (2020). The effect of used lubricating oil volume as a binder on the characteristics of briquettes made from corn cob and coconut shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1), 12010. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/725/1/012010>
- Narzary, A., & Das, A. K. (2022). Study of effects of addition of charcoal and binder derived from taro on physiochemical properties of briquettes made from tree leaves. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102119>
- Ndindeng, S. A., Mbassi, J. E. G., Mbacham, W. F., Manful, J., Graham-Acquaah, S., Moreira, J., Dossou, J., & Futakuchi, K. (2015). Quality optimization in briquettes made from rice milling by-products. *Energy for Sustainable Development*, 29, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.09.003>
- Nikiema, J., Asamoah, B., Egblewogbe, M. N. Y. H., Akomea-Agyin, J., Cofie, O. O., Hughes, A. F., Gebreyesus, G., Asiedu, K. Z., & Njenga, M. (2022). Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200095>
- Njenga, M., Yonemitsu, A., Karanja, N., Iiyama, M., Kithinji, J., Dubbeling, M., Sundberg, C., & Jamnadass, R. (2013). Int. Journal of Renewable Energy Development (IJRED) Implications of Charcoal Briquette Produced by Local Communities on Livelihoods and Environment in Nairobi-Kenya Article history. In *Journal of Renewable Energy Development* (Vol. 2, Issue 1). www.ijred.com
- NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 2060*. (n.d.).
- NTC. (1987). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 2060*.
- Nuriana, W., Anisa, N., & Martana. (2014). Synthesis preliminary studies durian peel bio briquettes as an alternative fuels. *Energy Procedia*, 47, 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.228>

- Obi, O. F. (2015). Evaluation of the effect of palm oil mill sludge on the properties of sawdust briquette. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 52, pp. 1749–1758). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.001>
- Onaji, P. B., & Siemons, R. v. (1993). *PRODUCTION OF CHARCOAL BRIQUETTES FROM COTTON STALK IN MALAWI: METHODOLOGY FOR FEASIBILITY STUDIES USING EXPERIENCES IN SUDAN* (Vol. 4, Issue 3).
- Onyango, J., Babu, K., Njuguna, S., Wanzala, W., & Yan, X. (2020). Harnessing the potential of common water hyacinth as an industrial raw material for the production of quality biofuel briquettes. *SN Applied Sciences*, 2(8). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3109-1>
- Osei Bonsu, B., Takase, M., & Mantey, J. (2020a). Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05266>
- Osei Bonsu, B., Takase, M., & Mantey, J. (2020b). Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05266>
- Pérez Torres Yacira. (2017). EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR LA PRODUCCIÓN DEL CARBÓN VEGETAL EN EL CORREGIMIENTO DE HIBACHARO EN EL MUNICIPIO DE PIOJO DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*.
- Rahmawati, S. S., Abram Afadil, P. H., & Parwati Anggraini, N. G. A. M. (2022). CHARACTERISTICS OF CHARCOAL BRIQUETTES FROM KEPOK BANANA PEEL WASTE (*Musa paradisiaca* F.) AS ALTERNATIVE FUEL. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(1), 108–115. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1516607>

- Ramadhini, M., Saputra, D. S., Setiawan, H., Nur, J., & Asmaidi. (2021). Making briquette as fuel from rice husk waste and glutinous rice flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 644(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012068>
- Rezania, S., Ponraj, M., Din, M. F. M., Songip, A. R., Sairan, F. M., & Chelliapan, S. (2015). The diverse applications of water hyacinth with main focus on sustainable energy and production for new era: An overview. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 41, pp. 943–954). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.006>
- Shiferaw, Y., Tedla, A., Melese, C., Mengistu, A., Debay, B., Selamawi, Y., Merene, E., & Awoi, N. (2017). Preparation and evaluation of clean briquettes from disposed wood wastes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 39(20), 2015–2024. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1399175>
- Sjølie, H. K. (2012). Reducing greenhouse gas emissions from households and industry by the use of charcoal from sawmill residues in Tanzania. *Journal of Cleaner Production*, 27, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.008>
- Srisang, S., Phetpan, K., Ruttanadech, N., Limmun, W., Youryon, P., Kongtragoul, P., Srisang, N., & Chungcharoen, T. (2022a). Charcoal briquette production from waste in the coffee production process using hydrothermal and torrefaction techniques: A comparative study with carbonization technique. *Journal of Cleaner Production*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133744>
- Srisang, S., Phetpan, K., Ruttanadech, N., Limmun, W., Youryon, P., Kongtragoul, P., Srisang, N., & Chungcharoen, T. (2022b). Charcoal briquette production from waste in the coffee production process using hydrothermal and torrefaction techniques: A comparative study with carbonization technique. *Journal of Cleaner Production*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133744>

- Tan, Y. L., Abdullah, A. Z., & Hameed, B. H. (2017). Fast pyrolysis of durian (*Durio zibethinus* L) shell in a drop-type fixed bed reactor: Pyrolysis behavior and product analyses. *Bioresource Technology*, *243*, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.015>
- Teixeira, S. R., Pena, A. F. V., & Miguel, A. G. (2010). Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. *Waste Management*, *30*(5), 804–807. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.018>
- Tippayawong, K. Y., Santiteerakul, S., Ramingwong, S., & Tippayawong, N. (2019a). Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette productio from agricultural and forest residues. *Energy Procedia*, *160*, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.162>
- Tippayawong, K. Y., Santiteerakul, S., Ramingwong, S., & Tippayawong, N. (2019b). Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette productio from agricultural and forest residues. *Energy Procedia*, *160*, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.162>
- Tippayawong, K. Y., Santiteerakul, S., Ramingwong, S., & Tippayawong, N. (2019c). Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette productio from agricultural and forest residues. *Energy Procedia*, *160*, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.162>
- Tumutegereize, P., Mugenyi, R., Ketlogetswe, C., & Gandure, J. (2016). A comparative performance analysis of carbonized briquettes and charcoal fuels in Kampala-urban, Uganda. *Energy for Sustainable Development*, *31*, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.01.001>
- Wang, Z., Lei, T., Yang, M., Li, Z., Qi, T., Xin, X., He, X., Ajayebi, A., & Yan, X. (2017). Life cycle environmental impacts of cornstalk briquette fuel in China. *Applied Energy*, *192*, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.071>

Wu, S., Zhang, S., Wang, C., Mu, C., & Huang, X. (2018). High-strength charcoal briquette preparation from hydrothermal pretreated biomass wastes. *Fuel Processing Technology*, 171, 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.11.025>

Zanella, K., Concentino, V. O., & Taranto, O. P. (2017). Influence of the type of mixture and concentration of different binders on the mechanical properties of “green” charcoal briquettes. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 199–204. <https://doi.org/10.3303/CET1757034>

Bibliografía

Banco Trade Markets. (2022). *Santander*. Obtenido de China: Política y economía: <https://santandertrade.com/es/portal/analizar-mercados/china/politica-y-economia>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación*. Ciudad de Mexico : Mc Graw Hill.

Junta de Castilla y León. (s.f.). *Residuos agrícolas, forestales, ganaderos y cultivos energéticos*. Obtenido de <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/residuos-agricolas-forestales-ganaderos.html>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (15 de septiembre de 2020). *Agronet*. Obtenido de Colombia busca ingresar a Comunidad Internacional del Coco y lograr nuevas oportunidades para productores: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Colombia-busca-ingresar-a-Comunidad-Internacional-del-Coco-y-lograr-nuevas-oportunidades-para-productores.aspx#:~:text=%C2%B7%20En%20el%20a%C3%B1o%202019%20se,7%2C2%20toneladas%20por%20hect%C3%A1rea.>

Pimienta, A., Dos Santos, R., De Oliveira , A., & Castro, R. (2015). Charcoal briquettes produced with recycled coconut pith.

Quesada Kimsey, J. (2012). La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. *Revista Tecnología En Marcha*, 14-21.