

Elaboración de Briquetas a partir de Aserrín y Viruta de Pinus SPP como Energía Alternativa en el departamento de Boyacá, Colombia.

Production of briquettes from sawdust and Pinus spp shavings as alternative energy in the department of Boyacá, Colombia

Heidy Dayany Cuevas Bonilla, Camila Andrea Hernández Montañez,
Laura Daniela Ortiz Tibaduiza, Sandra C. Díaz Bello

Ingenierías y Arquitecturas, Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja,
heidy.cuevas@usantoto.edu.co, camila.hernandezm@usantoto.edu.co, laura.ortiz@usantoto.edu.co,
Sandra.diazb@usantoto.edu.co

Resumen— La necesidad de fuentes de energía se hace eminente con el pasar de los días, por efecto del crecimiento poblacional e implementación de economía circular en los diversos procesos productivos, ya que la contaminación a los recursos naturales a consecuencia de emisión de gases tóxicos e inadecuada disposición de residuos sólidos afecta inevitablemente los ecosistemas y al hombre. Por esta razón, se propone como alternativa la generación de energías renovables, a partir de biomasa (aserrín y viruta) con el fin de disminuir y mitigar los impactos ambientales que contribuyen con el cambio climático, mediante la fabricación de briquetas con aserrín y viruta de madera de Pinus spp utilizando como aglutinantes almidón de yuca y maíz, para su compactación. Se construyeron cuatro briquetas con diferentes combinaciones, de las cuales la de aserrín-almidón de yuca, aserrín-almidón de yuca y maíz fueron las de mejor aglomerado y más compactadas, por su parte la de viruta-aserrín-almidón de yuca y maíz, y la de viruta-aserrín-almidón de yuca se deshicieron. Es así como se evidencia que, para la fabricación de éstas, el material más adecuado como materia prima es el aserrín y como aglutinante el almidón de yuca y maíz son pertinentes para tal fin.

Palabras clave— Aglutinante, biomasa, biocombustible, economía circular, energías alternativas, humedad, reutilización.

Abstract— The need for energy sources becomes eminent with the passing of days, by effect of population growth and implementation of circular economy in the various productive processes, pollution of natural resources as a result of toxic gas emissions and inadequate disposal of solid waste inevitably affects ecosystems and man. For this reason, the generation of renewable energy from biomass (sawdust and chips) is proposed as an alternative in order to reduce and mitigate the environmental impacts that contribute to climate change, by manufacturing briquettes with sawdust and wood shavings from Pinus spp using cassava and corn starch as binders for compaction. Four briquettes were built with different combinations, of which the sawdust-cassava starch, sawdust-cassava starch and corn were the best agglomerated and most compacted, meanwhile the chip-sawdust-cassava starch and corn, and the chip-sawdust-sawdust Cassava starch got rid of. It is thus evident that, for the manufacture of these, the most suitable material as raw material is sawdust and as a binder cassava and corn starch are relevant for this purpose.

Keywords— Binder, biomass, biofuel, circular economy, alternative energies, moisture, reuse.

I. INTRODUCCION

El desarrollo mundial según la Organización de Naciones Unidas está encaminado al establecimiento de estrategias de mitigación, a consecuencia de las actividades antropogénicas, que en la búsqueda de solventar las diferentes necesidades diarias del hombre utiliza los recursos naturales indiscriminadamente, sin pensar en las futuras generaciones (ONU, 2023). Inmerso en esto, el crecimiento poblacional que ha venido en aumento, a consecuencia requiere mayor potencial energético (Hermelinda Huaman Ramos, 2021), por ende, mayor demanda de energía, dentro de las cuales se encuentran fuentes renovables (hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica) y no renovables derivados de fuentes fósiles (gas natural, petróleo, carbón) (Máximo, 2019).

Es así como en los diferentes procesos industriales que se llevan a cabo se generan diversos residuos, como es el caso de los derivados de las actividades forestales, la cual, es de gran importancia por la intervención de los bosques y biomasa forestal. Esta actividad resulta impactando el medio ambiente ya que contribuye con el manejo los gases de efecto invernadero. Por tanto, el aprovechamiento de los residuos generados a partir de la industria de transformación maderera y recursos forestales evita que este sea un foco de contaminación (Leixi Viviana García-Escalona, 2018).

Dentro de los subproductos obtenidos de las diversas actividades relacionadas con la madera se encuentra el aserrín y la viruta, representando una alta disponibilidad y costo bajo, teniendo en cuenta que deben cumplir con unos estándares de calidad para su posterior aprovechamiento (Fermín Correa-Méndez, Artemio Carrillo-Parra, & Garza-Ocañas, s.f.). En otras palabras, estudios han demostrado que estos residuos son materia prima para estimular las energías renovables obtenidas de biomasa (Iván Jesús Díaz Artigas, 2020). Es por ello, que se considera como materia prima útil para la obtención de energía sustentable (Niño Cano, 2020), que involucran los tres pilares del desarrollo sostenible el social, económico y ambiental (Leixi Viviana García-Escalona, 2018).

Según la Organización de Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), en los bosques queda el 60% del árbol después de ser talado, posteriormente es distribuido en las fábricas convirtiéndose en residuo luego de ser utilizados un 45% al 55%, según la transformación que le den son trozas (aserrín, viruta, despuntes, costaneras, etc.). Por tanto, estos residuos son desechados sin una disposición final adecuada, dejándola al aire libre, almacenándola, quemándola, impactando el ecosistema y devaluando su valor agregado (Leixi Viviana García-Escalona, 2018) (Ramírez, 2021). No obstante, estos residuos se convierten en contaminantes

altamente tóxicos principalmente para los recursos suelo y agua (Ramírez, 2021).

Considerando la relación entre la fuente de la problemática con respecto al ciclo de vida de estos subproductos enmarcados en la economía circular, la cual brinda equilibrio (social, económico y ambiental) y evitando la acumulación de desechos al considerar un modelo productivo (Vargas-Ramírez, 2023). A consecuencia, del requerimiento de biocombustibles a partir de biomasa es necesario para solventar la demanda de energía sostenible y mitigar los impactos ambientales contribuyendo con la minimización de los efectos del cambio climático y calentamiento global (Valerio, 2021).

Por tanto, se relaciona la generación de biocombustibles con la implementación de briquetas a partir de diferentes residuos. Las briquetas están fabricadas a partir de un material que es compactado, este material es derivado de sustratos orgánicos, de forma y tamaño variado, donde se emplean procesos termoquímicos y fisicoquímicos, en el caso puntual derivados de industria maderera (Ampie, 2019). El aserrín o viruta, está compuesto de fibras de celulosa unidas con lignina, donde el 50% corresponde a carbono (C), 42% a oxígeno (O), 6% a hidrógeno (H) y 2 % a nitrógeno (N), tiene baja densidad, fácil manejo para su transformación física, además con alto poder calorífico, con una humedad de 10%; dado que cumple con las características para la construcción de briquetas entre ellas las propiedades como sólidos compactados (manipulación, transporte, almacenamiento, dosificación y combustión) y el comportamiento de un combustible dentro de un sistema integrado (Valerio, 2021).

De esta manera, se convierte en una alternativa de combustible ecológico 100% y renovable, dentro de la bioenergía sólida sustituto de la leña, carbón y como biocombustible para generación de calor en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas, sin emisiones de olores, humos, a bajo costo, evitando y disminuyendo la deforestación (Valerio, 2021), contribuyendo con la conservación de ecosistemas, valor agregado de residuos derivados de la madera y eficiencia energética (Leixi Viviana García-Escalona, 2018).

El objetivo de este trabajo es producir briquetas a partir de aserrín y viruta de *Pinus* spp como propuesta alternativa para la generación de energía limpia en el departamento de Boyacá, Colombia, dándole uso a los residuos sólidos generados en la industria maderera involucrando el concepto de economía circular. Implementar biomasa forestal para la disminución del uso de combustibles fósiles en chimeneas, hornos, caldera, entre otros.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Composición de las Briquetas

Para elaborar las briquetas se empleó aserrín y viruta de madera de *Pinus spp* recolectada de una carpintería del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá. El aserrín fue tamizado para reducir el tamaño de sus partículas mediante un tamiz de 0,5 mm. Se emplearon 3 tipos de aglutinante, el primero fue la pulpa del papel cartón reciclado previamente humedecida; en segundo lugar, se empleó almidón de yuca; y finalmente harina de almidón de maíz. La relación de los ingredientes de mezcla se determinó haciendo el análisis de estudios similares como los realizados por (Cabezas Arévalo, 2009; Hernández Solórzano, 2020; Morales Máximo, 2019; Niño Cano, 2019) y se hizo la relación según lo planteado para esta investigación, así como se puede evidenciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de las briquetas.

Briqueta	Componentes					
	Aserrín	Viruta	Agua	Yuca	Maíz	Papel
1	100g	0	160ml	34.9g	34.9g	0
2	50g	50g	260ml	34.9g	34.9g	0
3	50g	50g	260ml	34.9g	0	0
4	100g	0	260ml	34.9g	34.9g	0
5	50g	50g	1500ml	0	0	x

Fuente: Autor

B. Elaboración de las Briquetas

Inicialmente, como se observa en la Fig. 1, se pesa el material de aserrín y viruta según lo registrado en la Tabla 1, empleando la balanza de precisión marca PRECISA BJ 410C de 0,01gr de apreciación y capacidad de 410gr y un vaso de precipitado de 600ml, pertenecientes al laboratorio de Hidrología de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.



Fig. 1. Pesaje de las muestras
Fuente: Autor

Continuamente, se hace el respectivo pesaje del aglutinante de selección (maíz y/o yuca) en la balanza de precisión con la

ayuda de una placa de Petri para la disposición del aglutinante; la Fig. 2, muestra cómo se realizó el proceso anteriormente mencionado.

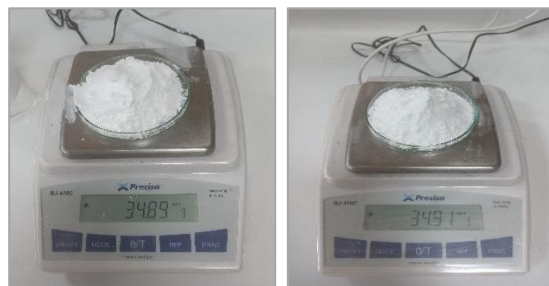


Fig. 2. Pesaje de las muestras
Fuente: Autor

Una vez pesados los aglutinantes estos se activan con 30ml de agua mezclando continuamente por 5 min hasta tener una mezcla homogéneamente líquida, para ello se emplearon vasos de precipitado de 100ml y una espátula. Finalmente, se hace la mezcla de los componentes en un vaso de precipitado de 2000ml, así como se puede observar en la Fig. 3 y 4



Fig. 3. Mezcla de componentes para la Briqueta N°2
Fuente: Autor



Fig. 4. Mezcla de componentes para la Briqueta N°1
Fuente: Autor

Para la Briqueta N°5 el proceso se realizó artesanalmente, para esta, se empleó 1.5L de agua (H₂O), a la cual se introdujo trozos de papel cartón reciclado y se dejó reposar por 30min; posterior al reposo se introdujo a la mezcla aserrín y viruta, así como se puede apreciar en la Fig.5.



Fig. 5. Mezcla de componentes para la Briqueta N°5
Fuente: Autor

Seguidamente, se compacto la mezcla haciendo presión con fuerza manual para retirar el exceso de líquido y finalmente se introdujo en un canuto de cartón reciclado. Véase la Fig. 6



Fig. 6. Mezcla de componentes para la Briqueta N°5.
Fuente: Autor

Y finalmente, se dejaron secar al aire libre durante 7 días a temperatura promedio de 17°C.

C. Proceso de compactación de las Briquetas

Posterior a la mezcla los componentes fueron acoplados en un molde de acero carbonatado de 50,8mm (2 pulgadas) de diámetro y una longitud de 35 cm como puede verse en la Fig. 7.



Fig. 7. Moldaje para la elaboración de briquetas
Fuente: Autor

D. Prensado de las Briquetas

Para la respectiva compresión de las briquetas se empleó como puede verse en la Fig. 8 una prensa de accionamiento neumático e hidráulico de 40 toneladas (Tn).



Fig. 8. Prensa de accionamiento neumático e hidráulico de 40 (Tn).
Fuente: Google Imágenes

Es importante mencionar que la presión ejercida a cada una de las briquetas fue de 2 toneladas (Ton) llegando a este valor manualmente haciendo uso de la palanca neumática de la prensa y observado en el manómetro integrado en la estructura el valor de presión ejercida, así como se puede observar en la Fig. 9.



Fig. 9. Manómetro integrado en la estructura de la prensa.
Fuente: Autor

E. Proceso de secado

El proceso de secado se realizó al aire libre, de manera natural en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja donde la luz solar entra directamente en un tiempo aproximado de 15 días. Así como se observa en la Fig.10.



Fig. 10. Secado de briquetas
Fuente: Autor

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se logró efectuar la fabricación de cinco briquetas en total con características diferentes, como se mencionó anteriormente en la metodología donde se establecen las cantidades, materiales utilizados y propiedades físicas específicas para la construcción de cada una de ellas. De acuerdo con estas características, se evalúa su eficiencia e identificación de características físicas mediante el comportamiento al momento de exponerlas a combustión. Teniendo en cuenta que la combustión, es la reacción química que se lleva a cabo mediante la oxidación del combustible, el cual interactúa con el comburente (oxígeno) y temperatura de ignición, donde se libera energía percibida físicamente como la emisión de calor y luz, reconocida como flama o llama (Serrano, s.f.).

Es así como se pueden distinguir cuatro formas de combustión dentro de las cuales se encuentran, la primera es la completa estequiometria donde hay oxígeno adecuado para que se oxide el carbono; la segunda es completa, pero se presenta oxígeno más del requerido, lo cual no permite la formación del monóxido de carbono; la tercera es incompleta donde por falta de disposición de oxígeno no hay oxidación de carbono y, por último, también incompleta ya que los reactantes no presentan buena complementariedad en la que se generan emisiones de compuestos nocivos (Serrano, s.f.).

Para la obtención final de las briquetas, estas cumplieron un tiempo de secado de dos semanas. La longitud total de las briquetas fue de 9 cm en general y su diámetro fue de 50.8 mm.



Fig. 10. Briqueta N°1.
Fuente: Autor

Posteriormente a las pruebas de eficiencia de las briquetas se obtuvo características diferentes en cada una de estas. Para la Briqueta N°1 que se compone de Aserrín, almidón de yuca y almidón de maíz, véase en la Fig. 10, dentro de las características físicas que se observaron a simple vista se determinó que esta briqueta presentaba una mejor compactación, por lo que no presento desmoronamiento.



Fig. 11. Quema Briqueta N°1.
Fuente: Autor

En cuanto al proceso de quema, la briqueta N°1 presentó dificultad para que la llama inicial se propagara por la totalidad de la briqueta, al inicio la llama que se observa es de color azul como puede verse en la Fig. 11, la razón es que fue aplicado alcohol para encenderla inicialmente, luego de que el alcohol se quema y empieza a aumentar la temperatura la briqueta, cambia el color de la llama y se torna naranja. Además, demuestra alta presencia de humo y por el color de la llama se sugiere deficiencia de oxígeno, por lo tanto, la combustión es incompleta, y la energía química del combustible no es liberada completamente.

Para la briqueta N°2 como se observa en la Fig. 12, presenta características de secado y longitud total igual que la anterior, pero a diferencia de la briqueta N°1 la composición de esta corresponde a aserrín, viruta, almidón de yuca y almidón de maíz.



Fig. 12. Briqueta N°2.
Fuente: Autor

La compactación no se considera muy eficiente, esto debido al tamaño de las partículas de viruta a lo que se le atribuye dicha deficiencia en el resultado, véase en la Fig. 12.



Fig. 13. Quema Briqueta N°2.
Fuente: Autor

Al realizar el proceso de quema para la briqueta N°2 como se puede observar en la Fig. 13, al igual que en la briqueta 1 se presenta dificultad para generar la llama inicial pero luego de que esta se genera la propagación del fuego es más rápida para la totalidad de la briqueta. A simple vista se puede observar que la intensidad de la llama es mayor y el color de esta en su mayoría es naranja y en baja intensidad un color azul, lo que indica presencia de monóxido de carbono y una llama débil. Así mismo la generación de humo es menor, mientras enciende, las emisiones de humo son bajas y la capacidad de la llama es mucho mejor que la anterior.

La briqueta N°3 tenía una composición de aserrín, viruta y almidón de yuca, luego de finalizado el proceso de secado se observa que la compactación de esta briqueta fue más efectiva, como puede verse en la Fig. 14, aunque su compactación no es del todo efectiva si presenta una mejoría en comparación de la briqueta N°2 la cual tenía una composición similar.



Fig. 14. Briqueta N°3.
Fuente: Autor

Dentro de las características que también se consideraron fue la longitud total de la briqueta, la cual sigue correspondiendo a la misma de las anteriores.



Fig. 15. Quema Briqueta N°3.
Fuente: Autor

Al realizar el proceso de quema se lograron observar algunas características significativas, como puede verse en la Fig.15. El color de la llama es naranja y en más baja intensidad azul, por lo anterior, se sugiere que la intensidad del poder calorífico de esta aumenta. Inicialmente se presenta dificultad para inducir la llama, pero después ésta se propaga rápidamente por toda la superficie de la briqueta. Luego de este proceso, se genera una cantidad de humo menor a la considerada en las anteriores pruebas, lo que indica una combustión incompleta con desprendimiento de bajas emisiones.

La muestra de la briqueta N°4, presenta una composición de aserrín, almidón de yuca y almidón de maíz, con una longitud total de 17 cm y una mejor compactación, véase en la Fig. 16.



Fig. 16. Briqueta N°4.
Fuente: Autor

Esta briqueta en especial fue la que presentó un mejor nivel de compactación en general.



Fig. 17. Quema Briqueta N°4.
Fuente: Autor

En los resultados obtenidos luego del proceso de quema, se comprobó que presenta dificultad para generar la llama inicial y su propagación por toda la superficie del sólido. Además, como puede verse en la Fig. 17, la llama es de color azul, esto por el alcohol utilizado para que encendiera, donde posteriormente al quemarse el alcohol tiene una intensidad naranja. Al no propagarse por toda la superficie esta llama se consume generando humo, pero no la quema total de la muestra de manera rápida. Se percibe una combustión sin llama, pero si presencia de emisiones contaminantes, (Serrano, s.f.).

Finalmente, la briqueta N°5. fue realizada de manera artesanal cuya composición fue aserrín, viruta y papel cartón humedecido, con una longitud de 8cm y diámetro de 4cm y una compactación óptima considerando su técnica de compactación, así como puede verse en la Fig. 18.



Fig. 18. Briqueta N°5
Fuente: Autor

La briqueta N°5 permite sugerir que el proceso de mezcla y compactación, considerando las eficiencias de la misma en torno a secado y consistencia, presenta resultados con mayores eficiencias que las mismas que se fabricaron en la prensa para su compactación (briqueta N°2 y briqueta N°3).

En el proceso de quema de la briqueta N°5 se generó una llama de intensidad media de color amarillo. Para lograr su combustión, se empleó alcohol que funcionó como

combustible, así mismo, cuando la intensidad de la llama es baja el humo empieza a propagarse, no obstante, este no emite ningún tipo de olor y su duración de quema fue de aproximadamente 26 min para una longitud de 3 cm.



Fig. 19. Quema Briqueta N°5
Fuente: Autor

Adicionalmente, al ser la llama de color amarillo y la fuerte presencia de humo proveniente de ella se puede determinar a través de las características físicas y el tono de la llama que una de las causas es la falta de oxígeno. La temperatura baja impide una combustión completa, lo que implica que la energía química del combustible no se libera en su totalidad

IV. DISCUSIÓN

La utilización de viruta y aserrín para la producción de briquetas es un tema relevante en el campo de la sostenibilidad y la gestión de residuos. En primer lugar, es importante destacar que emplear viruta y aserrín para la creación de briquetas es una estrategia efectiva para gestionar y valorizar los residuos generados por la industria maderera y sectores afines. Estos residuos suelen ser abundantes y, si no se manejan de manera adecuada, pueden representar un problema ambiental, ya sea ocupando espacio en los vertederos o al ser incinerados, lo que genera emisiones contaminantes (Cabezas Arévalo, 2009; Huaman Ramos et al., 2021; Vivanco Roque et al., 2021).

Transformar la viruta y el aserrín en briquetas permite darles un nuevo propósito y evitar la generación de residuos adicionales. Esto contribuye a reducir la demanda de recursos naturales, como la madera, al utilizar los residuos como materia prima. Además, se minimiza el impacto ambiental relacionado con la extracción y procesamiento de nuevos materiales (Hernández Solórzano, 2020; Morales Máximo, 2019; Niño Cano, 2019).

Otra ventaja significativa del aprovechamiento de viruta y aserrín para la producción de briquetas es la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando la viruta y el aserrín se descomponen de manera natural o se queman de forma descontrolada, liberan dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Sin embargo, al convertirlos en briquetas y utilizarlos como combustible, es posible obtener beneficios climáticos al reemplazar fuentes de energía más contaminantes, como los combustibles fósiles (Cabezas Arévalo, 2009;

Huaman Ramos et al., 2021; Niño Cano, 2019; Vivanco Roque et al., 2021)

Además, el uso de briquetas de viruta y aserrín como combustible puede contribuir a reducir la deforestación. Al ofrecer una alternativa sostenible a la leña y al carbón vegetal, se reduce la presión sobre los bosques y se protegen los ecosistemas naturales. En términos de viabilidad económica, el aprovechamiento de viruta y aserrín para la producción de briquetas puede generar oportunidades comerciales y empleo local en la fabricación y venta de este tipo de combustible. Esto puede beneficiar a las comunidades locales, especialmente en regiones donde la industria maderera es una fuente importante de empleo (Morales Máximo, 2019; Valiente Mack, 2017; Vera Velásquez, 2014)

Es importante mencionar, que el aprovechamiento de viruta y aserrín para la producción de briquetas también presenta desafíos. Uno de ellos es garantizar la calidad y consistencia de las briquetas fabricadas, así como su eficiencia energética y bajos niveles de emisiones contaminantes. Esto requiere de procesos de producción adecuados y el cumplimiento de estándares y regulaciones ambientales (Hernández Solórzano, 2020; Niño Cano, 2019; Vivanco Roque et al., 2021)

Por ello, en torno a la fabricación de las briquetas la proporción de materia prima se seleccionó considerando lo dicho por (Vivanco Roque et al., 2021), donde menciona que la mejor proporción es 50-50 de viruta y aserrín y 70-30 de mezcla y aglutinante, al igual que el autor (Morales Máximo, 2019) donde afirma que la briqueta con mejor compactación es la que contiene 50% de aserrín 50% de viruta, 1 litro de agua y como aglutinante la fécula de maíz en un 45%.

No obstante, y como se puede apreciar en los resultados, en el caso de esta investigación tiene mayor compactación las briquetas realizadas con aserrín 100% y la mezcla de dos aglutinantes, el almidón de yuca en un 50% y la fécula de maíz en el 50% restante; de allí que autores como (Valiente Mack, 2017) indiquen que el mejor aglutinante es el almidón de yuca ya que este presenta el mayor porcentaje de amilopeptina (83%).

En conclusión, el aprovechamiento de viruta y aserrín para la producción de briquetas es una práctica ambientalmente favorable que contribuye a la gestión sostenible de residuos, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la preservación de los recursos naturales. Además, ofrece oportunidades económicas y beneficios sociales, aunque también implica desafíos en términos de calidad y regulación. Para maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos, es fundamental promover el desarrollo tecnológico, la investigación y la implementación de buenas prácticas en la producción y uso de briquetas (Valiente Mack, 2017; Vera Velásquez, 2014)

V. CONCLUSIONES

En el proceso de fabricación de las briquetas se reconoce que el molde para realizarlas depende de lo que requiera el fabricante, según las características físicas y materiales que se deseen utilizar, cabe mencionar que el diámetro de la materia prima es importante para facilitar el proceso. Además, la parte de la compresión mecánica es fundamental para el moldeo y la posterior resistencia de las briquetas, ya que de este proceso depende la consistencia de las mismas. Por su parte, las cantidades del aglutinante que se desee utilizar van de acuerdo con la necesidad de absorción del material, pero como tal es de gran utilidad para el moldeo de las partículas y crucial para obtener la firmeza que se requiera según el caso.

A partir de las características observadas luego de la fabricación y tras dos semanas de secado de las briquetas, se evidencia que en las que fue utilizado el aserrín y como aglutinante almidón de yuca y aserrín y como aglutinante almidón de maíz, fueron las que presentaron mejor compactación, por tanto, una mejor relación y comportamiento entre los materiales usados. Por otra parte, las briquetas a base de aserrín-viruta una con solo almidón de yuca como aglutinante, y la otra con aserrín-viruta con aglutinante de almidón de yuca y maíz presentaron menor compactación, por lo tanto, se desboronan.

Por tanto, se determina que el diámetro de material (aserrín y viruta) utilizado juega un papel muy importante, ya que al ser las partículas de menor diámetro va a permitir una mejor compactación de los materiales y, por el contrario, cuanto más es el tamaño se va a dificultar más su aglomeración.

Así mismo, es importante destacar que, la realización de este tipo de briquetas se puede hacer de manera artesanal, ya que estas son sencillas de ensamblar y no necesita de ningún costo económico adicional, solo se necesitan las materias primas, he incluso se puede afirmar que, el uso de aglutinantes puede reemplazarse por otros materiales como papel cartón reciclado o que los aglutinantes como el de yuca y el de papa se pueden hacer artesanalmente realizando el respectivo pelado de estos tubérculos.

Por su parte, con respecto al momento de la utilización para el fin propuesto, que es la generación de calor, se evidenció que el comportamiento en general de las cuatro posibles combinaciones de briquetas fabricadas al inicio para ser encendidas requiere de previa disponibilidad calorífica, ya que tardan un poco en prenderse. Es así, que las que aparentemente generaron una mejor calidad de llama fueron las que poseen mayor diámetro de partículas, ósea las construidas a partir de viruta. En cuanto a las correspondientes a base de aserrín se evidencia que hay mayor presencia de emisiones de humo, pero demora mucho más en apagarse, por lo tanto, se podría interpretar como mayor contenido de poder calorífico, ya que después de ser encendidas, la capacidad para generar calor en determinado tiempo va a tener una mayor durabilidad.

Por tanto, con relación a las características físicas de las llamas o flamas generadas, por cada una de las briquetas es importante mencionar que en ninguna se presentó combustión completa, ya que, en cuanto al color de esta, la cual es relacionada con la temperatura en proporción al calor emitido y medida de luz irradiada. La flama fue principalmente de color naranja y rojo opaco. Lo que indica falta de oxígeno y emisión de partículas muy pequeñas, por tanto, favorece la producción de hollín a consecuencia de la combustión incompleta, también indicando bajas temperaturas. También, estas variaciones de color pueden presentarse por las mezclas realizadas para la obtención de las briquetas, donde estos presentan reacciones y producen emisiones de hollín, dióxido de carbono, monóxido de carbono y, por tanto, una combustión menos eficiente. Teniendo en cuenta que el humo generado está asociada a factores como lo es la combustión incompleta, humedad y naturaleza de los materiales con que fueron elaboradas.

En cuanto al contexto regional para la consecución de las materias primas, que en este caso corresponden al aserrín y viruta, se considera que la industria maderera es una de las más influyentes en el departamento, por tanto, la disponibilidad y calidad de la misma es un punto positivo que favorece esta alternativa con el fin de generación y reutilización de desechos maderables no aprovechables, los cuales tienen otra posibilidad frente al ciclo de vida que se da actualmente, ya que su disposición final no debe terminar simplemente en fuentes hídricas, ni por consiguiente en un relleno sanitario, al contrario puede ser fuente de energía en otro sector productivo de la región como lo son las calderas, ladrilleras e incluso abordar un contexto social como lo puede representar en la zonas rurales, donde utilizan estufas de leña.

VI. REFERENCIAS

- [1] AMPIE, H. A. (2019). *Repositorio Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250409312.pdf>
- [2] Cabezas Arévalo, R. I. (2009). Diseño de un sistema de compactación de biomasa de cascarilla de arroz y serrín, en la producción de Bloques Sólidos Combustibles (BSC) [Tesis de Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [3] Castells, X. E. (2012). Los residuos como combustibles. En X. E. Castells, *TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS* (págs. 72 - 143). Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=0eW2NJMWYIUC&oi=fnd&pg=PA106&dq=como+interpretar+el+color+de+la+llama+de+combusti%C3%B3n&ots=2tFxtuvo2&sig=Iwc8DGxyzGvsvs00KEGgpnK_yM#v=onepage&q=como%20interpretar%20el%20color%20de%20la%20llama%20de%20
- [4] Fermín Correa-Méndez, Artemio Carrillo-Parra, J. G.-Q.-M.-R.-Y., & Garza-Ocañas, F. (s.f.). *RCHSCFA*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v20n1/v20n1a8.pdf>
- [5] Hermelinda Huaman Ramos, M. M. (2021). *Repositorio Institucional Universidad Continental*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf
- [6] Hernández Solórzano, L. C. (2020). Análisis de la incidencia del cambio de parámetros de fabricación en las propiedades mecánicas, físicas, químicas y de combustión de pellets de biomasa fabricados a partir de mezclas de aserrín de pino y carbón [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- [7] Huaman Ramos, H., Ramirez Sucño, M. M., & Surichaqui Unchupaico, R. J. (2021). Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021 [Tesis de pregrado]. Universidad Continental.
- [8] Iván Jesús Díaz Artigas, A. D. (abril de 2020). *CITMA CERTIFICADO UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA, INGENIERÍA ENERGÉTICA Volumen 41*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012020000100003&script=sci_arttext&tlng=en
- [9] Leixi Viviana García-Escalona, P. R.-D.-G. (septiembre de 2018). *Revista Universidad de Costa Rica Volumen 29*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/33090/36127>
- [10] Máximo, M. M. (febrero de 2019). *Repositorio UMSNH*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1462/FITECMA-M-2019-0136.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Niño Cano, A. F. (mayo de 2020). *Repositorio Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77549/1015440804.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [12] ONU. (mayo de 2023). *Organización de Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- [13] Ramírez, M. A. (Marzo de 2021). *Repositorio UMSNH*. Obtenido de

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7946

- [14] Sánchez, M. C. (2016). REPOSITORIO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL. Obtenido de EL FENÓMENO DE LA COMBUSTIÓN COMO MECANISMO DE INTERACCIÓN ENTRE SUSTANCIAS: UNA FORMA DE COMPRENDER LA NATURALEZA DE LA MATERIA Y SUS TRANSFORMACIONES: <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/340/TO-19252.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] Serrano, J. F. (s.f.). Conocimientos fluidos. Obtenido de https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu7/7_Eficiencia_de_un_Proceso_de_Combustion.pdf
- [16] Valerio, H. O. (2021). *Repositorio Universidad Nacional de Ucayali Perú*. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5051/B71_UNU_INGENIERIAFORESTAL_2021_T_HERBERT_VALERIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] Valiente Mack, A. C. (2017). ELABORACIÓN DE BRIQUETAS PARA APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO DE ARROZ EN BENEFICIOS DEL MUNICIPIO DE EL PROGRESO, JUTIAPA [Tesis de pregrado]. Universidad Rafael Landívar.
- [18] Vargas-Ramírez, X. (marzo de 2023). *Repositorio UNISIMON*. Obtenido de <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/11923/ECO%20MUEBLES-FINAL.pdf?sequence=1#page=40>
- [19] Vera Velásquez, A. (2014). DISEÑO DE BRIQUETAS ECOLÓGICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA Y MEJORAMIENTO DE ECOSISTEMAS EN EL CORREGIMIENTO DE NABUSIMAKE, MUNICIPIO DE PUEBLO BELLO-CESAR [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- [20] Vivanco Roque, D., Sánchez Hechavarría, Y., & Mariño Cala, M. (2021). Fabricación de briquetas con aserrín y papel reciclado. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico □. *Ciencia & Futuro*, 11(3), 23–35.