

Artículo científico

Elaboración de briquetas a partir de residuos de la madera de guindas (*Prunus cerasus*) y residuos agrícolas mediante aglutinado con gel de sábila

Preparation of briquettes from sour cherry wood waste (prunus cerasus) and agricultural waste by binding with aloe vera gel

 **Elyane Estefany Belito Huamani**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Susan Karina Montes Bujaico**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Nilton Paul Arias Palomino**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Andrea Elizabeth Barreto Palomino**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Jhon Deyvis Chamorro Sinchi**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Alex Smith Quispe Torre**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Yosber Ramos Quispe**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

 **Olinda Torres Rojas**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

Aceptado: Julio de 2024
Recibido: Diciembre de 2024

Julio - Diciembre
Vol. 3 Núm. 2 – 2024
<https://doi.org/10.56275/fitovida.v3i2.41>

RESUMEN

Se ha determinado el aprovechamiento sostenible de las briquetas como biocombustible sólido compactado, fabricados a base de aserrín de guinda (*Prunus cerasus*), utilizado como aglutinante el bagazo de maíz, gel de sábila y cartón triturado, en base a residuos agrícolas. Para ello se elaboraron dos tipos de briquetas, con condiciones ideales que favorecen su uso, compuestas de materia prima en diferentes cantidades. A través del desarrollo de las briquetas se analizó las muestras, obteniendo valores de la anatomía de la madera, peso, densidad, contenido de humedad, tiempo de combustión y porcentaje de celulosa. Estableciendo que, la briqueta que presenta las propiedades fisicoquímicas y mecánicas adecuadas, es la briqueta de tipo I, es decir la combinación de bagazo de maíz y gel de sábila. Se obtuvieron valores del peso húmedo de entre los 0.11527 kg y 0.11941 kg y un peso seco de entre 0.09166 Kg y 0.09471 Kg; además con el tiempo de combustión de entre 50'.34" y 57'.10" y un porcentaje de celulosa de 47.54% en base al primer tratamiento y 46.95% en el segundo tratamiento.

Palabras clave: Briquetas, biocombustible, residuos agrícolas, aserrín de guindas, gel de sábila, sostenibilidad.

ABSTRACT

The sustainable use of briquettes as compacted solid biofuel was analyzed, manufactured from cherry sawdust (*Prunus cerasus*), using corn bagasse, aloe vera gel and shredded cardboard as a binder, based on agricultural waste. For this, two types of briquettes were produced, with ideal conditions that favor their use, composed of raw materials in different quantities. Through the development of the briquettes, the samples were analyzed, obtaining values of the wood anatomy, weight, density, moisture content, combustion time and percentage of cellulose. Establishing that the briquette that presents the appropriate physicochemical and mechanical properties is the type I briquette, that is, the mixture of corn bagasse and aloe vera gel. Wet weight values of between 0.11527 kg and 0.11941 kg and a dry weight of between 0.09166 Kg and 0.09471 Kg were obtained; also, with a combustion time of between 50'.34" and 57'.10" and a cellulose percentage of 47.54% based on the first treatment and 46.95% in the second treatment.

Keywords: *Briquettes, biofuel, agricultural waste, cherry wood, aloe vera gel, sustainability, physical properties.*

INTRODUCCIÓN

La necesidad diaria de cocinar alimentos ha impulsado al hombre a buscar diversas opciones de combustible. Si bien el gas es la opción más común, su alto costo lo convierte en un obstáculo para las personas de bajos recursos. Por ello, la leña, obtenida de la madera, se ha convertido en una alternativa popular, especialmente en regiones donde la madera es abundante. Sin embargo, la deforestación y el impacto ambiental asociado a la tala de árboles han generado la búsqueda de soluciones más sostenibles. Una alternativa prometedora es el uso de biocombustibles a base de residuos agrícolas. Estos residuos, generados en gran cantidad por la agricultura, representan un problema para los agricultores, ya que su manejo implica costos adicionales para la limpieza y el transporte. Además, su quema genera contaminación ambiental y reduce la fertilidad del suelo (Preciado-Saldaña et al., 2022).

En el Perú, por ejemplo, la producción de cultivos como papa, cebada, trigo, arveja, habas y avena genera una gran cantidad de residuos. Estos residuos no solo representan un problema ambiental, sino que también impiden que los agricultores obtengan un valor agregado de ellos. La transformación de estos residuos en biocombustibles ofrece una solución integral, ya que no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también genera un valor económico a partir de un recurso que de otra manera se desperdiciaría. Esta propuesta no solo beneficia al medio ambiente, sino que también impulsa el desarrollo económico de las comunidades rurales. La producción de biocombustibles a partir de residuos agrícolas crea nuevas oportunidades de empleo y fomenta la innovación en el sector agrícola (Villa et al., 2021).

En el Perú, en un estudio realizado, se ha destacado que, el diseño y las dimensiones de las briquetas facilitaron una combustión completa, ya que la inclusión de un agujero en el centro permite una adecuada oxigenación. Se evaluaron principalmente parámetros como la reducción de emisiones y la eficiencia energética de los contaminantes atmosféricos, considerando también la accesibilidad de los insumos necesarios para su producción. Con ello, se destacó una mejora en la eficiencia energética tras el reemplazo del combustible tradicional por las briquetas ecológicas, con un incremento del 12.96% en la primera temporada y del 7.30% en la segunda. Esto significa que se puede lograr la misma producción con un

menor costo y una reducción en el requerimiento de materiales (Ortega Quispe et al., 2021).

La producción de briquetas a partir de aserrín de guinda es importante por sus beneficios ambientales y económicos; buscando valorizar subproductos agroindustriales para convertir residuos en recursos útiles y promover la sostenibilidad. A través del uso de residuos agrícolas ayuda a reducir desechos y desarrollar soluciones energéticas más limpias, en este contexto se realizarán análisis físico-químicos para evaluar la composición, poder calorífico y características de combustión de las briquetas. Se emplearán técnicas como análisis gravimétricos, calorimetría y pruebas de resistencia mecánica, junto con métodos estadísticos para establecer correlaciones entre propiedades y variables del proceso de producción; permitiendo una evaluación precisa (Cartagena et al., 2023). La utilización del aserrín de guinda como materia prima en combinación con el aglutinante de sábila y residuos de cartón, representan una alternativa innovadora y sostenible en el ámbito de los biocombustibles, ya que su composición rica en lignina y celulosa lo vuelve un candidato ideal para el desarrollo de briquetas, en este sentido la combinación con el aglutinante de sábila mejora su cohesión y la integridad estructural de las briquetas. La sábila no solo actúa como un agente aglutinante natural, sino que también es biodegradable y accesible, lo que refuerza el enfoque sostenible del proceso eventualmente reduciendo las emisiones contaminantes (Villa et al., 2021).

A nivel mundial, el 60 % de las energías renovables proviene de la biomasa, que incluye tanto biocombustibles tradicionales como modernos. En México, la leña representa aproximadamente el 68 % de estos biocombustibles (Álvarez-Ayala et al., 2024). Por otro lado, los residuos biomásicos, provenientes de prácticas agroforestales, se han convertido en un problema ambiental global debido a su disposición ineficiente y al creciente aumento de su cantidad (Bettles et al., 2021). Esto incluye materiales como el aserrín y la viruta de la industria maderera, así como los restos de podas del sector agrícola. A medida que aumentan los residuos biomásicos, también se incrementan los costos de eliminación, lo que resalta la necesidad de desarrollar aplicaciones sostenibles para convertir estos materiales en productos de valor agregado (Gupta et al., 2022).

Este estudio busca ofrecer una alternativa energética viable y sostenible, a través del desarrollo de un biocombustible

elaborado a partir de residuos agrícolas. La investigación se centra en aprovechar estos residuos, que comúnmente se desechan, para convertirlos en una fuente de energía limpia y económica, accesible para todos. El objetivo principal es

contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y la promoción de prácticas sostenibles en la gestión de residuos agrícolas.

METODOLOGÍA

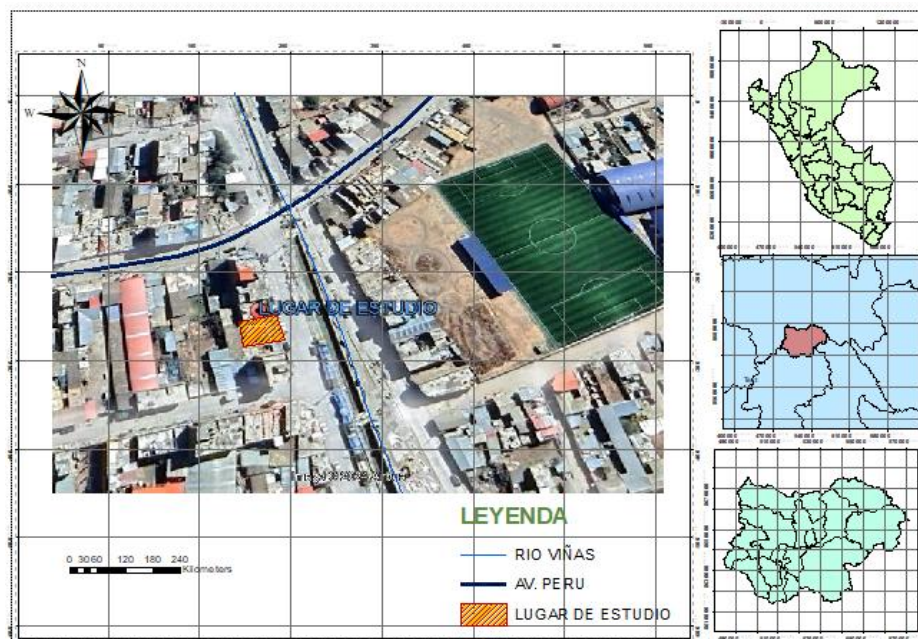
Área de estudio

El proceso para la elaboración de las briquetas de madera de *Prunus cerasus*, se llevó a cabo en un lugar que está ubicado

al costado del “Puente de Daniel Hernández” quien delimita el distrito de Pampas con el distrito de Daniel Hernández, pertenecientes a la provincia de Tayacaja-Huancavelica. Este lugar está ubicado específicamente en las coordenadas 12°23'48.34" latitud Sur y 74°51'47.68" de longitud oeste, a una altitud de 3262 m.s.n.m. como se muestra en la (figura 1).

Figura 1

Lugar del proceso de la elaboración de las briquetas.



Fuente. Elaboración propia.

Alcance de la Investigación

Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, debió a que tiene como objetivo describir las propiedades físicas de briquetas elaboradas a partir de una mezcla de aserrín de *Prunus cerasus* y bagazo de maíz, utilizando gel de sábila como aglomerante.

Nivel de investigación

Este estudio tiene un nivel de investigación experimental, debido a que se centra en describir las propiedades mecánicas de briquetas elaboradas a partir de una mezcla de aserrín de *Prunus cerasus* y bagazo de maíz, utilizando gel de sábila como aglomerante.

Diseño de investigación

Se optó por un diseño experimental con el objetivo de establecer una relación causal entre la composición de las briquetas y sus propiedades físicas. Este enfoque permitió manipular las proporciones de los residuos de *Prunus cerasus* y residuos de bagazo de maíz, utilizando sábila como aglomerante, garantizando la objetividad de los resultados.

Materiales

El gel de sábila se extrajo manualmente de hojas maduras, mientras que el aserrín de madera de *Prunus cerasus* y el bagazo de maíz se obtuvieron de residuos previamente procesados, y el cartón que fue triturado para su posterior uso. Para el manejo y mezcla de los materiales, se utilizaron tinajas de gran capacidad y baldes más pequeños para almacenamiento. Finalmente, se utilizó una briquetadora manual tipo prensa, diseñada para compactar y dar forma rectangular a las briquetas.

Procedimiento de la fabricación de las briquetas

Para la fabricación de las briquetas se siguió el método de Berastegui et al. (2017) realizando algunas modificaciones.

Preparación del gel de sábila y cartón

Primero se comenzó con la preparación del gel de sábila, se seleccionaron hojas maduras de sábila, que fueron cortadas y peladas para extraer el gel de su interior. El gel fue raspado con una cuchara y posteriormente licuado en una licuadora doméstica hasta obtener una solución homogénea, tenía un color blanquecino-transparente. Este gel fue almacenado en un

recipiente plástico para su uso como aglomerante en la fabricación de las briquetas.; por otro lado, el cartón fue remojado en un balde con agua hasta ablandarse. Una vez húmedos, se trituraron manualmente en pequeñas piezas para facilitar su incorporación en la mezcla.

Acondicionamiento del aserrín de madera y el bagazo de maíz

El aserrín de madera de *Prunus cerasus* fue previamente procesado en una serrería, para luego ponerlos a remojar en agua dentro de una tina grande, posterior fue escurrido para eliminar el exceso de agua, utilizando las manos para

exprimirlos; y cuanto, al bagazo de maíz, fue desmenuzado manualmente.

Formulación y moldeado de las briquetas

Las composiciones se han procedido a la mezcla en una tina grande, en los cuales se utilizó la combinación de los diferentes componentes previamente preparados, como el gel de sábila con el aserrín, el bagazo de maíz y las fibras de cartón. La mezcla se trabajó manualmente hasta obtener una consistencia uniforme. Las cantidades específicas de cada componente se detalla en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Composición de las mezclas del residuo de Prunus cerasus, bagazo de maíz y otros componentes, para la elaboración de las briquetas

Componentes	Composición de la mezcla utilizada (g)
Aserrín de <i>Prunus cerasus</i>	600
Bagazo de maíz	250
Gel de sábila	60
Cartón triturado	150

Fuente. Elaboración propia.

Elaboración de las briquetas

Teniendo todos los componentes homogenizados para ambos tratamientos, se compactan en la briquetadora manual,

haciendo uso de la fuerza manual sobre la gata hidráulica, como se muestra en la (**figura 2**). Finalmente se deja secar las briquetas a luz natural por 5 días, así también en la estufa se complementa el secado a 105 °C por 48 horas.

Figura 2

Elaboración de las briquetas



Nota. a) llenado del aserrín preparado por los componentes; b) compactación; c) obtención de las briquetas.

Análisis de laboratorio

Para este estudio de investigación se evaluarán las propiedades físicas-mecánicas de las briquetas en un laboratorio para ello se evaluarán las siguientes propiedades:

Determinación del peso promedio de las briquetas

La evaluación del peso de las briquetas permite asegurar la consistencia en cada unidad producida, lo cual es fundamental

para un proceso de fabricación controlado. El peso total de las briquetas se calcula según la **ecuación 1**.

$$PB (kg) = \frac{Mtm}{\text{Número de briquetas}} \quad (1)$$

Donde:

PB = Peso promedio de la briqueta (kg)

Mtm = Masa total de la muestra (kg)

Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente sirve para evaluar la compactación y la calidad estructural de las briquetas. La densidad también influye en la resistencia de las briquetas a la absorción de humedad. La densidad aparente de las briquetas se calcula según la **ecuación 2**.

$$D = \frac{PB \text{ (kg)}}{VB \text{ (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

D = Densidad aparente (kg/m³)

PB = Peso de la briketa (kg)

VB = Volumen de la briketa (m³)

Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad es un indicador crítico de la calidad del combustible. El contenido de humedad de las briquetas se calcula según la **ecuación 3**.

$$CH = \frac{PBh - PBs}{PBh} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

PBh = Peso húmedo de la briketa (kg)

PBs = Peso seco de la briketa (kg)

Tiempo de combustión

El tiempo de combustión de las briquetas evalúa su eficiencia térmica como combustible sólido, un tiempo de combustión prolongado indica una liberación de energía sostenida, lo cual es deseable en combustibles de biomasa. El tiempo de combustión se mide registrando el tiempo total desde que la briketa comienza a arder hasta que se apaga completamente.

Determinación De Celulosa (MÉTODO: PERÓXIDO-ACÉTICO)

Se prepara 1.00 g. de aserrín libre de extractivos, seguidamente se coloca la muestra en el frasco de vidrio, después se agrega los 15 ml de la mezcla de peróxido de hidrogeno y ácido acético (proporción 2:1), luego se coloca la muestra en el termostato por 48 horas, una vez que la muestra toma un color blanco, se filtra y lava con agua destilada. Finalmente se lleva a secar la muestra en el desecador y se pesa. Los resultados se expresan en la siguiente fórmula:

$$\%Celulosa = \frac{C}{M} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

C: Peso de celulosa filtrada (g)

M: Peso de la muestra seco (g)

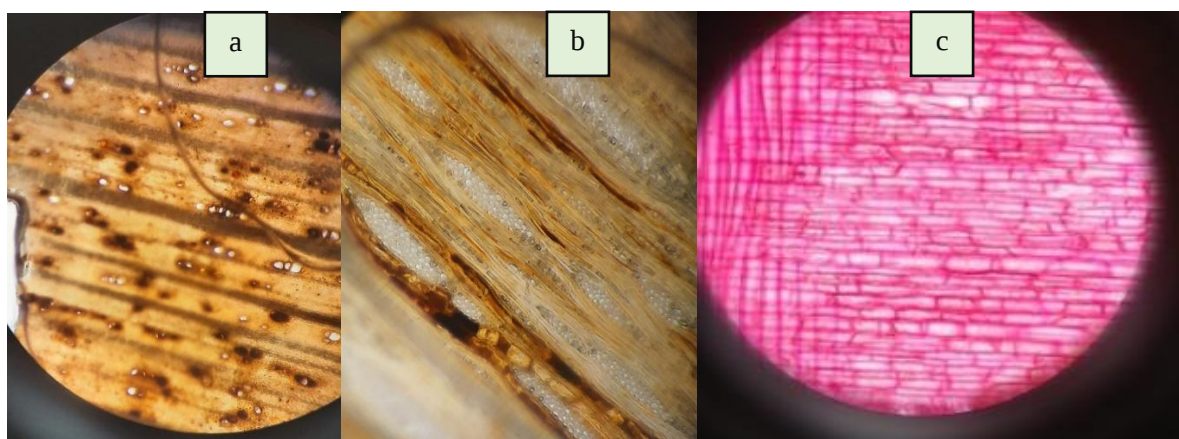
RESULTADOS

Descripción microscópica de la anatomía de la madera de guindas (Prunus cerasus)

Para la obtención de las fotografías microscópicas, se seleccionaron muestras de madera de Prunus cerasus (guinda), las cuales fueron seccionadas en pequeños cubos. Estos cubos fueron sometidos a un proceso de ablandamiento mediante cocción en una olla a presión durante 3 horas diarias, a fin de facilitar el corte y la penetración de los reactivos histológicos. Posterior a este tratamiento, las muestras fueron llevadas a un laboratorio para su posterior análisis, donde estas muestras fueron seccionadas en cortes transversales de espesor micrométrico, utilizando una cuchilla de afeitar (gillette). Los cortes obtenidos fueron teñidos con safranina durante 10 minutos para resaltar los componentes lignificados de la madera. Posterior a ello, las muestras fueron hidratadas en una serie de baños de alcohol etílico de concentración creciente (50%, 75% y 96%) durante 5 minutos cada uno. Finalmente, las muestras teñidas e hidratadas fueron colocadas en un portaobjetos y cubreobjetos, donde fueron observadas bajo el microscopio.

Figura 3

Observación microscópica de los cortes transversal, tangencial y radial de la madera de guindas (prunus cerasus)



Nota. a) corte transversal; b) corte tangencial; c) corte radial.

Se observa los cortes transversal, tangencial y radial de la madera, donde a continuación se detalla cada uno de ellos, como se muestra en la (figura 3).

En la vista transversal de la madera de *Prunus cerasus*, se observa claramente los anillos de crecimiento, formados por fibras con paredes celulares gruesas y lignificadas que aportan rigidez y soporte. Entre los anillos, se observa el parénquima axial, compuesto por células de paredes delgadas con funciones de almacenamiento y transporte lateral. Los vasos conductores, responsables del transporte de agua y nutrientes en sentido longitudinal, se distribuyen de manera irregular, apareciendo en agrupaciones radiales o de forma solitaria. Las “punteaduras” presentes en las paredes celulares, posiblemente aeroladas, facilitan la comunicación intercelular. La tinción con safranina resalta los componentes lignificados, aunque no se utilizó demasiada, como las fibras y los vasos, contrastando con las células del parénquima.

Por otro lado, en el corte tangencial de la madera de *Prunus cerasus*, se observa la presencia de vasos con perforaciones simples, dispuestos en filas radiales con punción intervacular alterna además se observan radios uniseriados y multiseriados, estos últimos con células parenquimáticas de forma rectangular y paredes delgadas. La madera presenta un parénquima axial paratraqueal vasicéntrico, en algunos casos confluyente. Se aprecia la presencia de fibras libriformes con puntuaciones simples, lo que sugiere una madera de alta resistencia. Asimismo, se observa las fibras musculares alargadas y paralelas que cumplen a función del tejido

muscular de la madera, por otra parte, se observan los traqueales que se caracterizan por el transporte de agua, que pueden presentar algunas perforaciones para la comunicación de las células, esta imagen nos permite dimensionar las características vasculares, que son esenciales para el transporte de agua, nutrientes y sustancias a través de la planta.

Así también en el corte radial de la madera de *Prunus cerasus*, se identifica el tamaño variable de los radios, tipo de grano medio y un lustre intermedio de la madera, lo cual en la sección transversal de los radios se ven como líneas que aparentemente que progresan como simples espejuelos (es decir, superficies brillantes de tamaño y forma variables). Del mismo modo, se aprecian líneas fusiformes de longitud y anchura variables con presencia de bandas o estructuras puntuales de color claro integradas por células de parénquima. Sin embargo, posee una estructura tubular dispuestos radialmente (los radios leñosos) y macizada por un material altamente resistente a la compresión (la lignina). Por otra parte, esto se debe por los numerosos elementos longitudinales y dentro de estos en sus paredes radiales, hace que el secado de las piezas aserradas radialmente sea más rápido que el de las aserradas tangencialmente.

Caracterizaciones físicas de la briqueta

Se muestra las dimensiones de la briqueta (largo, ancho, altura), a partir de ello se determina el volumen en (m^3) siendo necesario para calcular la densidad aparente de las briquetas (cuadro 1).

Tabla 1

Dimensiones de la briqueta

Características de la Briqueta		Resultados	Unidad
Dimensiones	Largo	0.15	m
	Ancho	0.05	m
	Altura	0.05	m

Fuente. Elaboración propia.

Determinación de peso húmedo y peso seco de las briquetas

El peso húmedo se ha determinado después de la elaboración de cada uno de las briquetas en kilogramos (kg) de ambos tratamientos como se muestra en la (tabla 2).

Tabla 2

Peso húmedo de las briquetas

Briquetas	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (Kg)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (Kg)
1	0.11836	0.11792
2	0.11661	0.11866
3	0.11713	0.11929
4	0.11724	0.11941
5	0.11527	0.11853

Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, se ha calculado el peso seco de las briquetas después de dejar 48 horas en la estufa de convección natural a 105 °C. Los cuales los pesos de cada una de las briquetas en kilogramos (kg) se muestra en la (tabla 3).

Tabla 3*Peso seco de las briquetas*

Briquetas	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (Kg)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (Kg)
1	0.09422	0.09166
2	0.09315	0.09227
3	0.09382	0.09035
4	0.09471	0.09214
5	0.09376	0.09172

Fuente: Elaboración propia.**Determinación del peso promedio de las briquetas**

Se detalla los resultados promedio del peso húmedo de las briquetas en ambos tratamientos como se muestra en el (tabla 4).

Tabla 4*Peso promedio de las briquetas en estado húmedo*

	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (Kg)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (Kg)
Peso promedio	0.11692	0.118762

Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, se detalla los resultados promedio del peso seco de las briquetas, como se muestra en el (tabla 5).

Tabla 5*Peso promedio de las briquetas en estado seco*

	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (Kg)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (Kg)
Peso promedio	0.09393	0.09163

Fuente. Elaboración propia.**Densidad aparente**

Para estimar la densidad aparente se ha calculado el volumen de las briquetas mediante sus dimensiones (ancho, largo y altura) siendo de 0.000375 m^3 .

Densidad aparente en peso húmedo

Mediante la observación de la tabla y figura 4 un promedio de 311.79 kg/m^3 generalizado por briquetas elaboradas de aserrín de guindas, bagazo de maíz y gel de sábila como

aglutinante, tienden a ser básicamente variables con el tratamiento de aserrín de guindas, cartón triturado y gel de sábila en un 4.910 kg/m^3 . Esto nos indica que los valores sobre la toma de densidad aparente en peso húmedo van dependiendo de factores como la textura, estructura y contenido de materia húmeda en caso del bagazo de maíz, así como del manejo de la compresión en el momento de la elaboración. De esta manera existe la variabilidad significativa entre el bagazo de maíz y el cartón triturado como tratamientos.

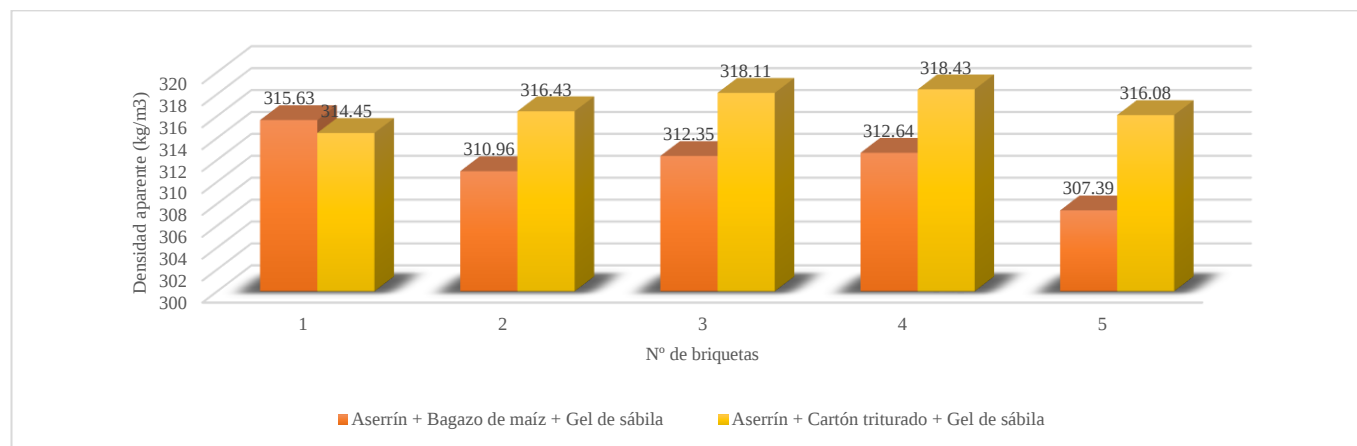
Tabla 6*Densidad aparente en peso húmedo en ambos tratamientos*

Briquetas	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (kg/m^3)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (kg/m^3)
1	315.63	314.45
2	310.96	316.43
3	312.35	318.11
4	312.64	318.43
5	307.39	316.08

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4

Densidad aparente en peso húmedo en ambos tratamientos



Fuente: Elaboración propia.

Densidad aparente en peso seco

Por otra parte, la tabla 7 y figura 5 en comparación por cada briqueta por tratamiento existe un rango máximo en la briqueta N°1 de 6.82 kg/m^3 y un mínimo en la briqueta N°2 de 2.32 kg/m^3 por el motivo de diferencia del insumo de bagazo de maíz y cartón triturado. Esto nos indica que los valores de densidad aparente en peso seco se encuentran entre 2.32 a 6.82

kg/m^3 , lo cual al ser secado la briqueta disminuye su peso y su estructura en eliminación de humedad, durante el secado permite que la medición de esta densidad juegue un papel importante, para fines de almacenamiento, transporte y manipulación del producto. A lo igual que una baja densidad tiene como objetivo que al transportar el producto ocupe menor volumen e igual pase con su peso.

Tabla 7

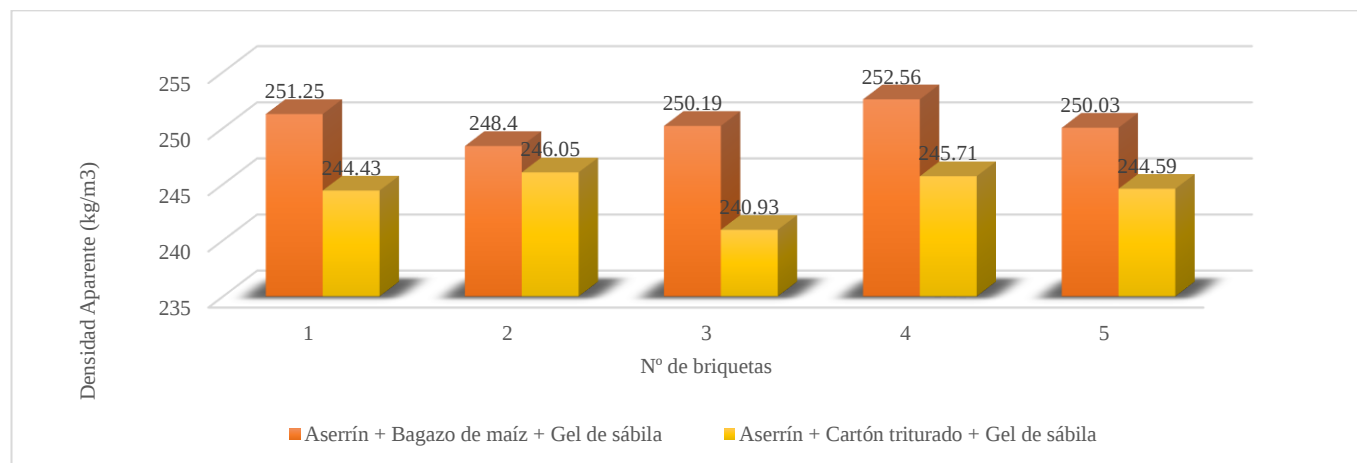
Densidad aparente en peso seco en ambos tratamientos

Briquetas	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (kg/m^3)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (kg/m^3)
1	251.25	244.43
2	248.40	246.05
3	250.19	240.93
4	252.56	245.71
5	250.03	244.59

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Densidad aparente en peso seco en ambos tratamientos



Fuente. Elaboración propia.

Contenido de humedad

El porcentaje de contenido de humedad de las briquetas en ambos tratamientos se muestra en la **tabla 8**, donde en el primer tratamiento (Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila) se muestra en las 5 briquetas que el porcentaje de humedad varía entre 18.66% a 20.40%. Por otro lado, en el segundo

tratamiento (Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila) se muestra en las 5 briquetas que el porcentaje de humedad varía entre 22.24% a 24.26%. Se deduce que hay más contenido de humedad en las briquetas del segundo tratamiento.

Tabla 8

Porcentaje de humedad en ambos tratamientos

Briquetas	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila (%)	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila (%)
1	20.40	22.27
2	20.11	22.24
3	19.90	24.26
4	19.22	22.84
5	18.66	22.62

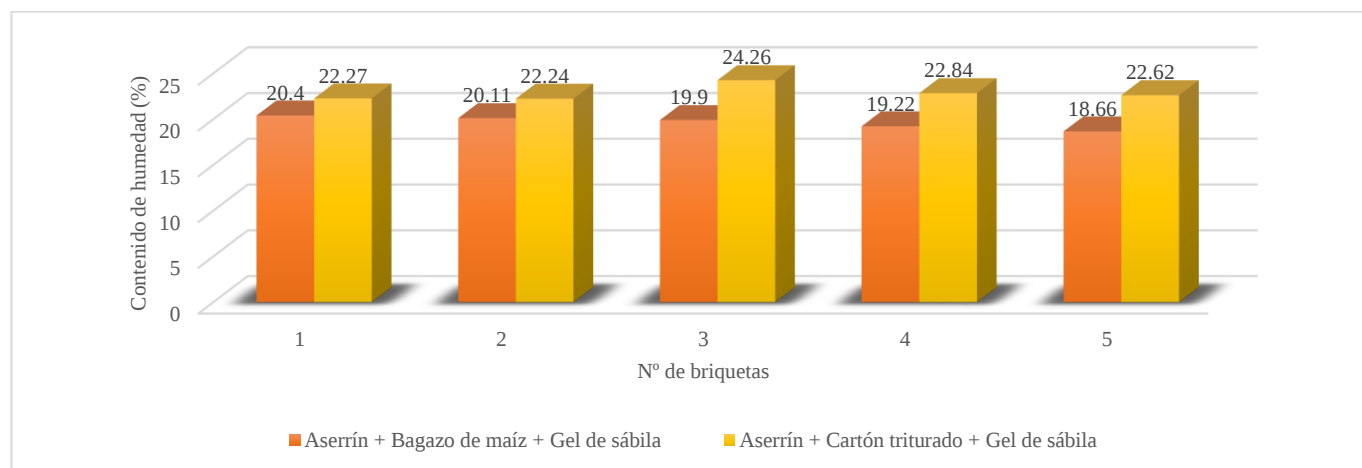
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 6 se muestra la diferencia del contenido de humedad de las briquetas en ambos tratamientos, donde la briketa 5 del primer tratamiento tiene menor humedad en

18.66%. No obstante, la briketa 3 del segundo tratamiento es el que tiene más contenido de humedad con 24.26%.

Figura 6

Porcentaje de humedad en ambos tratamientos



Fuente. Elaboración propia.

Tiempo de combustión

El tiempo de combustión de las briquetas es el tiempo necesario que la briketa dura en fuego hasta llegar al punto de ser ceniza (figura 7). Asimismo, el tiempo de combustión de las briquetas puede variar dependiendo de la combinación

de materiales con la que estén hechas. En la tabla 9 se muestra que con el tratamiento de (Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila) el tiempo de combustión dura más, variando entre 6 a 7 minutos respecto al otro tratamiento de (Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila).

Tabla 9

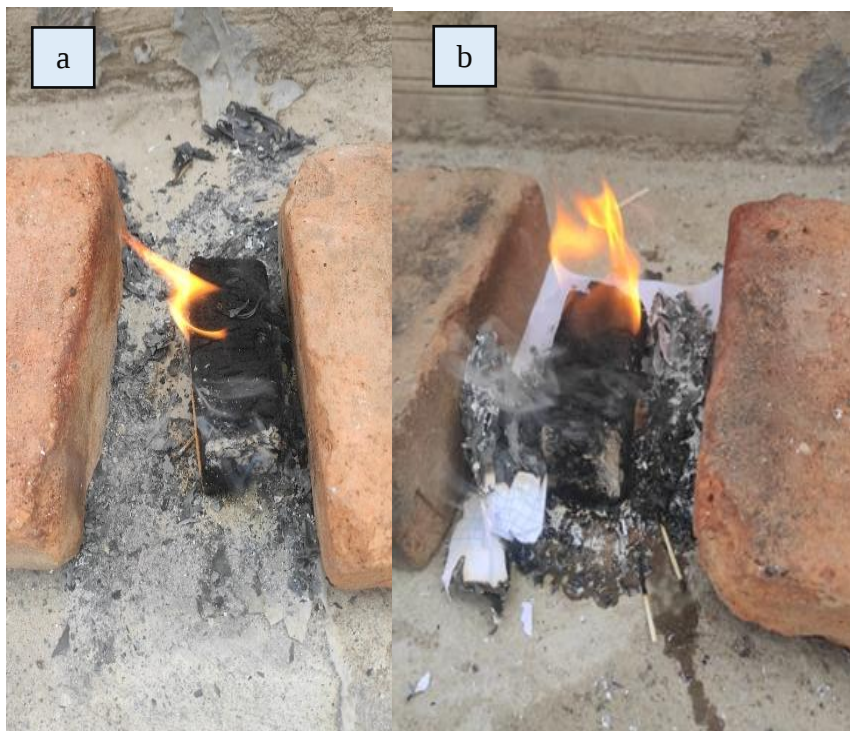
Tiempo de combustión de las briquetas en ambos tratamientos

Briquetas	Combustión de la briketa	
	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila
1	55'.48"	51'.36"
2	57'.10"	49'.10"
3	56'.34"	50'.34"

Fuente. Elaboración propia.

Figura 7

Combustión de las briquetas en ambos tratamientos



Nota: a) Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila; b) Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila.

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de celulosa

Se ha determinado el % de la celulosa a partir de 1.0000 (g) de muestra seco de aserrín y llevado a cabo el proceso en

laboratorio con los reactivos químicos como es el peróxido de hidrogeno y ácido acético (proporción 2:1). Los datos obtenidos en laboratorio se muestran en la **tabla 8**.

Tabla 10

Peso de la celulosa filtrada

	Peso del papel filtro más la celulosa (g)	Peso del papel filtro (g)	Peso de la celulosa filtrada (g)
Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila	1.6432	1.1678	0.4754
Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila	1.6132	1.1437	0.4695

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 9 se determina el porcentaje de celulosa en ambos tratamientos.

Tabla 11

Porcentaje de celulosa de las muestras de ambos tratamientos

	Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila	Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila
Peso de la celulosa filtrada (g)	0.4754	0.4695
Peso de la muestra seco (g)	1.0000	1.0000
% de celulosa	47.54	46.95

Fuente. Elaboración propia.

El contenido de celulosa varía desde 47.54 % para (Aserrín + Bagazo de maíz + Gel de sábila) y 46.95% para (Aserrín + Cartón triturado + Gel de sábila).

DISCUSIÓN

La densidad aparente de las briquetas se ve afectada significativamente por el contenido de humedad del material utilizado. Según Huamán y Ramírez (2021), las briquetas que contienen un contenido de humedad superior al 12% tienden a presentar una menor densidad aparente. Esto ocurre porque el exceso de humedad puede interferir con la compactación del material durante el proceso de prensado, resultando en una estructura menos densa y, por ende, menos eficiente como biocombustible. Asimismo, Huamán & Ramírez, (2021) en su estudio, observó que las briquetas elaboradas con aserrín y bagazo de maíz presentaron un contenido de humedad promedio del 13.38%, lo que afectó negativamente su densidad aparente. En cuanto a nuestros resultados en el contenido de humedad es un promedio de 19.53% lo cual infiere de forma eficiente, por lo cual muestra una reducción en la densidad aparente con un promedio de 311.79 kg/m³ por tanto tiene una similitud con el estudio realizado por Ramírez en 2021.

Por otro lado, en nuestro resultado de las briquetas elaboradas con aserrín y cartón triturado también mostraron una disminución en la densidad aparente con un promedio de 4.910 kg/m³ y el contenido de humedad superó el límite óptimo con un promedio de 23.25% en lo cual concuerda con lo mencionado de Valderrama et al. (2017) que indica que a medida que aumenta la humedad en los insumos utilizados para la fabricación de briquetas, se produce una reducción en la densidad final del producto debido a la formación de espacios vacíos entre las partículas (Valderrama et al., 2017). Esto es especialmente relevante para los materiales fibrosos como el cartón, que pueden retener más agua.

El proceso de fabricación también juega un papel crucial en cómo la humedad influye en la densidad aparente. Olazabal y Talavera (2021) destacan que, durante el prensado, las partículas secas tienden a compactarse mejor, lo que resulta en una mayor densidad aparente. Sin embargo, si las partículas contienen demasiada humedad, esto puede generar vapor durante el prensado, lo que resulta en una expansión del material y una reducción en su densidad final. Por lo tanto, controlar el contenido de humedad antes y durante el proceso es esencial para lograr briquetas con alta densidad. Por otra parte, Kumar et al. (2022) indica que el tamaño de las partículas y el contenido de humedad son determinantes en las propiedades físicas de las briquetas. Se concluyó que, a menor tamaño de partícula, mayor es la densidad aparente, lo cual es beneficioso para mejorar el rendimiento del biocombustible. Sin embargo, si el material contiene un alto porcentaje de humedad, esto puede llevar a una reducción en la resistencia mecánica y aumentar el riesgo de descomposición durante el almacenamiento (Valiente, 2019). La humedad es un factor crítico en la producción de briquetas, ya que afecta directamente su densidad aparente. Un contenido de humedad elevado puede resultar en una disminución significativa de la densidad aparente. Esto se debe a que el exceso de agua interfiere con la compactación de las partículas durante el proceso de prensado, generando espacios vacíos que reducen la densidad final del producto (Kumar et al., 2022).

Así también el uso del gel de sábila como aglutinante en la fabricación de briquetas también tiene un impacto significativo en la densidad aparente y la humedad. Según González y Rosales (2019), el gel de sábila puede mejorar las propiedades cohesivas del material, permitiendo una mejor compactación incluso con niveles moderados de humedad. Sin embargo, si el contenido de humedad es demasiado alto, el gel puede actuar como un agente que retiene agua en lugar de facilitar la compactación. En este sentido, se debe encontrar un equilibrio adecuado entre la cantidad de gel utilizado y el contenido total de humedad para optimizar la densidad aparente.

Los resultados obtenidos en la investigación reflejan la influencia del contenido de humedad y la composición de las briquetas tanto en sus propiedades físicas como mecánicas, corroborando estudios previos sobre biocombustibles sólidos. En particular, se observó que el contenido de humedad impacta significativamente la densidad aparente de las briquetas. En nuestro caso, las briquetas elaboradas con aserrín y bagazo de maíz presentaron un promedio de humedad del 19.53 %, mientras que las hechas con cartón triturado alcanzaron el 23.25 %. Estos valores exceden el límite óptimo sugerido por Valderrama et al. (2017), quienes reportaron que una humedad superior al 12 % reduce la densidad y la eficiencia del biocombustible debido a la formación de espacios vacíos entre partículas.

La densidad aparente promedio obtenida que es de 311.79 kg/m³ para aserrín y bagazo de maíz, es consistente con estudios como el de Huamán y Ramírez (2021), donde se destaca que una mayor humedad afecta negativamente la compactación. Por otro lado, la menor densidad observada en las briquetas de cartón triturado ,4.910 kg/m³ se debe a su mayor capacidad para retener humedad, lo que coincide con lo reportado por González y Rosales (2019) sobre materiales fibrosos.

En cuanto al tiempo de combustión, las briquetas de aserrín y bagazo de maíz presentaron una mayor duración promedio de 6 a 7 minutos en comparación con las de cartón triturado. Esto destaca la efectividad del bagazo de maíz como componente en términos de eficiencia energética sostenida, respaldando investigaciones previas que destacan su potencial en la fabricación de biocombustibles (Villa et al., 2021).

El análisis del porcentaje de celulosa en briquetas producidas a partir de residuos de *Prunus cerasus*, bagazo de maíz y gel de sábila es fundamental para comprender su viabilidad como fuente de energía renovable. Según un estudio realizado por Huanca Ríos (2017), las briquetas elaboradas con residuos de esta especie, bagazo de maíz y gel de sábila presentan un contenido de celulosa del 49.76%, lo que indica un alto potencial para aplicaciones energéticas y en la industria de biocombustibles. Este estudio se llevó a cabo en la planta briquetadora de la Corporación Industrial Nanay S.A.C, donde se evaluaron las propiedades físico-químicas del producto final, clasificándolo dentro del grupo I según la Norma Sueca SS18721, debido a sus características favorables como densidad y poder calórico (Huanca Ríos, 2017). En cuanto a nuestros resultados el porcentaje de celulosa reportó un 47.54 %, lo cual es consistente con otros estudios que

indican un rango entre el 30% y el 50% para diversas fuentes lignocelulósicas. Sin embargo, es importante considerar que las variaciones de los porcentajes de celulosa pueden deberse a diferencias en el tratamiento previo del material y en las condiciones ambientales durante la producción.

De acuerdo a González et al. (2023), cuando se observan diferencias significativas en el porcentaje de celulosa extraída puede obedecer a diferentes factores. El bagazo de maíz presenta un porcentaje de (47,54%) y cartón triturado (46,95%), a pesar de emplear aserrín y gel de sábila como agentes auxiliares en ambos casos. La estructura porosa del bagazo de maíz favorece la penetración de los reactivos químicos, lo que facilita la disolución de la matriz lignocelulósica y aumenta la eficiencia en la extracción de la celulosa. En contraste, el cartón triturado presenta una estructura más densa y homogénea que podría limitar la difusión de los reactivos hacia el interior del material, además de la posible presencia de aditivos o recubrimientos que podrían inhibir parcialmente el proceso. Estas diferencias estructurales se presentan como un factor clave en la variabilidad de los rendimientos obtenidos, subrayando la relevancia de seleccionar adecuadamente los materiales lignocelulósicos en función de sus características físicas y químicas.

CONCLUSIÓN

El estudio sobre la elaboración de briquetas a partir de residuos de madera de guindas y residuos agrícolas, utilizando gel de sábila como aglutinante, revela la viabilidad de transformar desechos en un combustible eficiente y sostenible. Se destaca que la selección adecuada de materiales y el control del contenido de humedad son fundamentales para optimizar las propiedades físicas y mecánicas de las briquetas, como su densidad y tiempo de combustión. Las briquetas producidas demostraron ser una alternativa prometedora para el uso como biocombustible, contribuyendo así a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos locales. Este enfoque no solo ayuda a mitigar el impacto ambiental de los residuos, sino que también ofrece una solución energética que podría ser beneficiosa en diversas aplicaciones, promoviendo un desarrollo más sostenible en la industria energética. Además, la investigación resalta la importancia de seguir explorando métodos innovadores en la producción de biocombustibles a partir de materiales no convencionales. La experimentación con diferentes proporciones de residuos y el uso de aditivos naturales, como el gel de sábila, demostró mejorar significativamente la resistencia de las briquetas, lo que las hace más adecuadas para su transporte y almacenamiento. Asimismo, se observó que el proceso de carbonización controlada puede aumentar aún más el rendimiento energético, haciendo de este método una opción viable para afrontar la creciente demanda de fuentes de energía renovables. Este enfoque no solo proporciona soluciones prácticas, sino que también fomenta la investigación hacia un futuro más limpio y sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berastegui, C., Ortega, J., Mendoza, J., González, J. & Gómez, R. (2017). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 643–653. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400643>
- Cartagena, R., Rivera, H., Velásquez, P., Falcón, R. & Velarde, A. (2023). Evaluación del nivel de emisiones y poder calorífico en briquetas de residuos del olivar. *Ingeniería Energética*, 44(2). <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/852>
- González, J. & Rosales, M. (2016). *Elaboración y caracterización de briquetas a partir de aserrín*. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf
- Huanca, J. (2017). *Estudio sobre el contenido de celulosa en briquetas de residuos de Prunus cerasus*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/29085/ARONES%20GOMEZ_PINO%20PRADO.pdf
- Huamán, R. & Ramírez, S. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía*. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf
- Jones, B. (2010). The evolution of Namibia's communal conservancies. En Rights, Community (Ed.), *Conservation and contested land* (pp. 106–120). Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849775052-14>
- Gupta, M., Kumari, A., Mishra, M., Akram, M. & Thakur, I. (2022). Agro-forestry waste management: A review. *Chemosphere*, 287(Pt 3), 132321. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132321>
- Ortega, K., Monago, T. & Caballero, C. (2021). Performance of ecological briquettes to reduce pollutant emissions applied to an artisanal brickyard in the Peruvian Andes. En *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. https://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/student_papers/SP651.pdf
- Kumar, S., Rahmawati, R. & Adi, P. (2022). Revisión bibliográfica sistemática sobre briquetas: propiedades físicas y mecánicas. *Journal of Renewable Energy Research*, 12(3), 1454–1465. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/ae4d4b35-3c81-476c-95af-94f473d78a31/content>
- Álvarez, A., Martínez, C., Gutierrez, A. & Ruiz, G. (2024). Producción de briquetas a partir de residuos biomásicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40. <https://doi.org/10.20937/RICA.55085>

- Olazabal, M. & Talavera, H. (2021). *Análisis físico-mecánico de briquetas elaboradas con diferentes aglutinantes*. Universidad Nacional Ucayali. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91679/Olazabal_MKA-Talavera_HAC%20SD.pdf?sequence=1
- Preciado, A., Ruiz, J., Villegas, M., Domínguez, J. & González, G. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria: Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92. <https://www.redalyc.org/journal/813/81373798002/html/>
- Valderrama, J., Aguirre, A. & Costilla, M. (2017). Caracterización física y energética de residuos orgánicos para producción de briquetas. *Revista Internacional de Energía Renovable*, 2(1), 45–52. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7377641.pdf>
- Valiente, J. (2019). *Caracterización física y energética de residuos orgánicos para producción de briquetas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3459>
- Villa, M., Crespo, L. & Cruz, J. (2021). Biocombustibles, una alternativa ecológica para el desarrollo sostenible en el Ecuador provincia de Imbabura. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(SPE3). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2719>