

Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados

Physical- chemical characterization of the cocoa pod husk as a possible use in the production of agglomerated boards

Andrés Felipe Díaz-Oviedo¹
Bladimir Azdrúbal Ramón-Valencia²
Gonzalo Guillermo Moreno-Contreras³

Recibido: septiembre 05 de 2021

Aceptado: : noviembre 15 de 2021

Resumen

La presente investigación se enmarca en el estudio de las propiedades físico-químicas de la cáscara de mazorca de cacao, variedad CCN 51. En este sentido, se llevaron a cabo pruebas a los residuos para determinar los componentes lignocelulósicos, junto con ensayos termo-gravimétricos y de microscopía electrónica de barrido. Los resultados de la composición química, arrojaron valores en mayor proporción de lignina, seguido de celulosa y hemicelulosa. En el análisis térmico, se presentó un pico inicial asociado a la humedad evaporada, además de cuatro etapas de fragmentación, que corresponden a los componentes primarios del residuo. En la microestructura se observó una superficie porosa, con presencia de microporos y paredes celulares. En general, se puede concluir que los residuos de cáscara de mazorca de cacao analizados, son una alternativa viable de materia prima a partir de fuentes renovables del sector agrícola, para la fabricación de tableros aglomerados con aplicaciones industriales.

Palabras clave: agroindustria, aprovechamiento de residuos, caracterización, procesos industriales.

Abstract

This research was based in the study of the physicochemical properties of the cocoa shell, variety CCN 51. In this sense, tests were carried out on the residues to determine the lignocellulose components, together with thermo-gravimetric tests and scanning electron microscopy. The results of the chemical composition showed values in a higher proportion of lignin, followed by cellulose and hemicellulose. In the thermal analysis, an initial peak associated with evaporated moisture was presented, in addition to four fragmentation stages, which correspond to the primary components of the residue. In the microstructure, a porous surface was observed, with the presence of micro pores and cell walls. In general, it can be concluded that the analyzed cocoa shell residues are a viable alternative of raw material from renewable sources in the agricultural sector for the manufacture of agglomerated boards with industrial applications.

Keywords: agroindustry, waste management, characterization, industrial processes.

1 Diseñador Industrial, Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. E-mail: andres.diaz@unipamplona.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6521-9949>

2 Ingeniero Metalúrgico, Doctor en Ingeniería de Materiales, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. E-mail: hbladimir@unipamplona.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2638-0633>

3 Ingeniero Mecánico, Doctor en Ingeniería Mecánica, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. E-mail: gmoren@unipamplona.edu.co

1. Introducción

El desarrollo industrial ha conllevado a la generación descontrolada de residuos, ocasionando un problema económico y ambiental para las empresas que deben asumir los costos en la disposición final de los mismos (Peñaranda-González et al., 2017; Yepes et al., 2008; Pardo-Rodríguez & Zorro-Mateus, 2021). En este sentido, se están implementando procesos más eficientes que permitan crear alternativas para el uso de estos desechos orgánicos, de modo que estos recursos naturales se puedan aprovechar como una fuente de materia prima para la fabricación de elementos industriales (Salamanca, 2012; Sánchez-Olaya et al., 2019).

Colombia produce 54.785 toneladas de grano de cacao seco al año, correspondiente al 23% de la mazorca utilizada para la producción del chocolate. Además, el 77% corresponde a la cáscara, equivalente a 183.410 toneladas/año de residuo en el país, siendo el departamento de Santander el mayor productor con 22.177 toneladas al año (Fedecacao, 2013).

En la explotación cacaotera sólo se aprovecha económicamente la semilla, que representa aproximadamente un 10% de la masa del fruto fresco (Franco et al., 2010). Los subproductos generados, la cáscara y la pulpa, cuando se depositan en los suelos, se consideran un foco para la propagación de un hongo del género *Phytophthora* spp, el cual es el causante principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (Anzules-Toala et al., 2019). Además, estos residuos ocasionan un impacto ambiental de gran magnitud, debido al desprendimiento de gas metano que se produce de forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas en ambientes pobres en oxígeno, convirtiéndose en un agente responsable del calentamiento global más potente que el dióxido de carbono (Martínez-Angel et al., 2015; Garcia-Gonzalez et al., 2021).

Lo anterior ha llevado a buscar la forma de brindar un uso sostenible de los residuos agroin-

dustriales derivados de la producción de cacao, como son: la fabricación de pectinas, obtención de biogás, espuma de poliuretano, adsorbentes, producción de pulpa de papel y carbón activado para tratar aguas contaminadas (Guerrero et al., 2017; Plasencia-Verde et al., 2021; Tejada et al., 2017; Herrera-Rengifo et al., 2020).

En la literatura también se han reportado investigaciones empleando residuos agroindustriales para la elaboración de tableros aglomerados. Se prepararon laminados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano, donde se evaluaron variables como la presión y la temperatura en el proceso de prensado del aglomerado (Álvarez et al., 2009). Con la fibra de raquis de la palma africana, se elaboraron tableros auto-adheridos, a través de un proceso de termo-compresión (Mejía-Almeida, 2012). El bagazo de caña de azúcar se ha propuesto para la elaboración de tableros aglomerados híbridos, empleando resinas de úrea y melanina en formaldehído, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de los tableros (Monteiro et al., 2011). Asimismo, las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas fueron estudiadas para diferentes mezclas de residuos de cascarilla de arroz con diferentes proporciones de gránulos de corcho y caucho reciclado. Los resultados sugieren soluciones a partir de estos compuestos, ya que brindan el rendimiento térmico y acústico adecuado para aplicaciones de materiales de construcción en edificios (Antonio et al., 2018).

Lo anterior indica que es muy importante buscar nuevas alternativas para el uso de los residuos agroindustriales. Por ello, el eje central de esta investigación se orienta al estudio físico-químico de la cáscara de cacao CCN51. Entre los aportes se encuentra el análisis de su composición química, representada en las fracciones de la celulosa, lignina y hemicelulosa.

Igualmente, se evaluaron las propiedades térmicas mediante la técnica de termo-gravimetría (TGA). Además, se realizó el estudio de la microestructura, a través de la microscopía

electrónica de barrido (SEM). Los resultados de la caracterización, perfilan a los residuos de cáscara de cacao como un potencial para fabricación de tableros aglomerados; sin embargo, se recomiendan pre-tratamientos para mejorar la compatibilidad con el aglutinante.



Figura 1. Variedad de cacao clon CCN 51.

Los residuos de CMC fueron tratados inicialmente en un horno a 50 °C por más de 72 horas, para eliminar humedad. Posteriormente, se llevaron a una recuperadora de materia prima, para realizar una reducción del tamaño a escala milimétrica, seguido de una molienda para obtener partículas finas. El producto obtenido, es tamizado durante 15 minutos, hasta llegar a proporciones que oscilan entre milímetros y micrómetros. El

2. Metodología

2.1 Preparación de la muestra

Los residuos de la cáscara de cacao (CMC), se recolectaron en el municipio de San Vicente de Chucurí, Colombia, y hacen parte de una variedad de cacao denominado clon CCN 51, como se muestra en la figura 1.

conocimiento del tamaño de grano de los residuos, juega un papel importante en las variables del proceso de termo-conformado; además, la homogeneidad de las partículas permite tableros aglomerados más compactos y con mejores propiedades mecánicas (González-Rivera et al., 2018). Para la caracterización físico-química, se escogieron residuos retenidos en el tamaño #30, como se evidencia en la figura 2.



Figura 2. Proceso de Reducción y tamizado.

2.2 Caracterización química

La caracterización química de los residuos se realizó bajo las normas estandarizadas. En relación al contenido de cenizas y extraíbles, se utilizó la norma ASTM (American Society for Testing and

Materials); mientras que las determinaciones de lignina, celulosa, hemicelulosa y solubilidad en NaOH se llevan a cabo bajo la norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas estandarizadas para la caracterización química de los residuos CMC.

Parámetro	Norma
Celulosa	TAPPI 17 m-55
Hemicelulosa	TAPPI 19-wd-71
Lignina	TAPPI 13-os-54
Solubilidad NaOH	TAPPI T212 om-12
Cenizas	ANSI/ASTM D1102-56
Extraíbles	ANSI/ASTM D1105-56

2.3 Caracterización física

La humedad se determinó en una balanza modelo PRECISA XM60, con un peso de muestra aproximada de 1 gr, el cual es sometido a un calentamiento de hasta 105 °C.

Las propiedades térmicas se analizaron a través de la técnica de termogravimetría (TGA), en un equipo modelo SDT-Q600 de TA Instruments. Los TGA se llevaron a cabo con muestras de 10 mg en peso, en un intervalo de temperatura de 25 °C hasta 620°C, a una velocidad de calentamiento de 10°C/min, en atmósfera de argón con flujo de 100 ml/min.

La morfología se analizó usando un microscopio electrónico de barrido de marca TESCAN, mode-

lo MIRA 3 FEG-SEM, con previo recubrimiento de una capa micrométrica de oro para mejorar la conductividad eléctrica de la muestra.

3. Resultados y discusión

El conocimiento de la composición química de la cáscara de cacao (CMC), es de vital importancia, en virtud de la información que brinda de las fracciones en las que está constituido este desecho. En este sentido, se realizaron pruebas de análisis químico por triplicado, para determinar las cantidades de celulosa, lignina y hemicelulosa, para las muestras preparadas de CMC, obteniendo los valores promedio, desviación estándar y la varianza, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Determinación de la composición química de la CMC.

Composición Química (% P/P)	Promedio	Desviación	Varianza
Lignina	43,6	1,04	0,72
Celulosa	34,4	0,55	0,20
Hemicelulosa	11,75	0,28	0,05
Extraíbles	2,43	0,12	0,01
Solubilidad Naoh	47,51	0,47	0,15
Cenizas	1,11	0,11	0,01

De acuerdo con los resultados de la tabla 2, la lignina representa el mayor porcentaje de la composición química de los residuos de CMC, con un 43.6%; seguido de un 34,4% asociado con la cantidad de celulosa, y muy por debajo

se encuentra la hemicelulosa con el 11,75%. El contenido de lignina concentrada en el residuo, representa un aporte significativo en las propiedades mecánicas de la estructura vegetal, ya que le aporta rigidez a la corteza de cacao.

Estudios similares experimentaron con diferentes estados de madurez en el residuo de cáscara de nuez, observando un mejor comportamiento a la tracción en los desechos con mayores tiempos, debido al incremento de la fase amorfa representada en la lignina. (Yusriah et al., 2014). Adicionalmente, la celulosa que constituye la fase cristalina, es fundamental en la resistencia que debe soportar la pared celular (Morales-Zamora et al., 2016). En este sentido, los valores arrojados en la composición química de los residuos de CMC, son relevantes para su uso en la fabricación de tableros, ya que determinan en cierta manera la conducta mecánica del material aglomerado cuando sea sometido a diferentes cargas, según su aplicación.

La solubilidad de los residuos en hidróxido de sodio al 1%, (Mejía-Almeida, 2012), fue calculada para la cáscara de cacao, obteniendo valores que comprenden el 47.51 %, lo que significa que

son sustratos que pueden estar expuestos a la degradación por hongos. Adicionalmente, el contenido de extraíbles y de cenizas, no supera el 3% de la composición química de los residuos CMC.

En la Figura 3 se presentan los resultados alusivos a la determinación de humedad de los residuos de CMC, arrojando un valor promedio de 14,6 %. Según la norma para tableros de partículas de madera ASTM-D-1552-10, la humedad para la elaboración de los tableros aglomerados se debe mantener en un máximo del 13% (ASTM, 2011). Además, se observa que a partir del minuto 60 la variación en la pérdida de masas es mínima, y permanece constante hasta el minuto 90. De acuerdo con estos resultados, se sugieren pre-tratamientos de secado antes del prensado de los granos de CMC, con la finalidad de ajustar el porcentaje de humedad de acuerdo con lo estipulado por la norma.

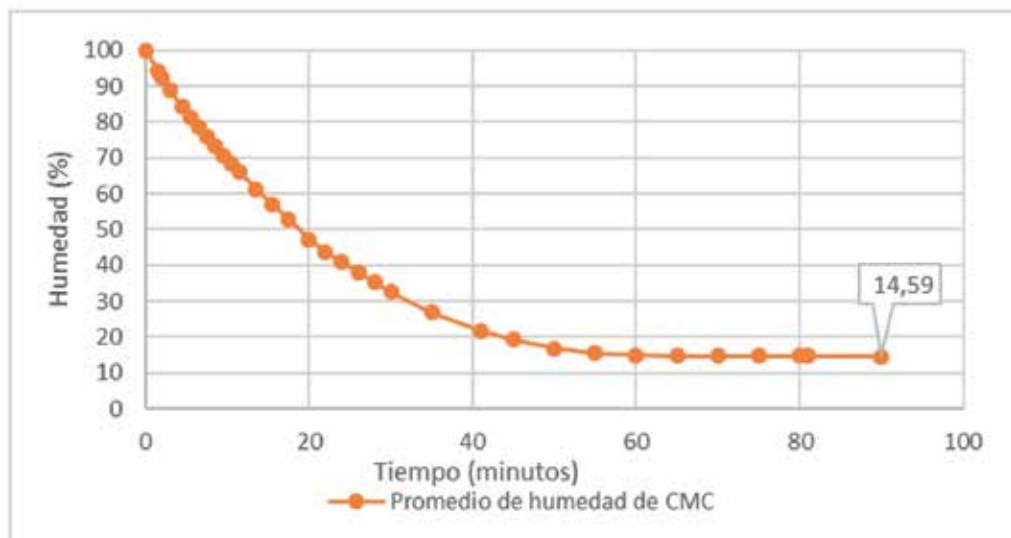


Figura 3. Promedio de humedad de la CMC.

La evaluación de la humedad en los residuos CMC es una variable fundamental en el uso de tableros aglomerados, debido a diversos factores que incluyen la absorción de agua e hinchamiento en espesor, siendo propiedades físicas que muestran la estabilidad dimensional de los tableros de fibras. Estas propiedades

brindan información sobre el comportamiento de los tableros cuando entran en contacto con la humedad (Diosa et al., 2017).

Estudiar el comportamiento térmico de los residuos de CMC es importante debido a la información que proporciona, tanto en las variables del

proceso de fabricación como en la estabilidad térmica del material a elevadas temperaturas. En la Figura 4, se muestran las curvas de TGA (pérdida de masa Vs temperatura), y DTG (primera derivada de la curva TGA Vs temperatura), para el desecho orgánico.

En la curva de TGA (ver figura 4), se aprecia inicialmente una pérdida de masa entre los 50 °C y 120 °C, correspondiente a la evaporación del agua contenida en el material de estudio de CMC, con un porcentaje del 15,63%, muy similar al obtenido en la prueba de análisis de humedad. Este porcentaje demuestra la naturaleza higroscópica de los residuos de CMC, lo que lleva a que el material particulado tenga la capacidad de almacenar grandes cantidades de líquido. Este fenómeno representaría un aumento en las propiedades de absorción e hinchamiento del material aglomerado. Posteriormente, se observa una caída drástica entre los 200 °C y 400 °C, que muestra la desintegración de los componentes primarios, como: la celulosa, lignina y hemicelulosa, con una pérdida de masa del 41,93%.

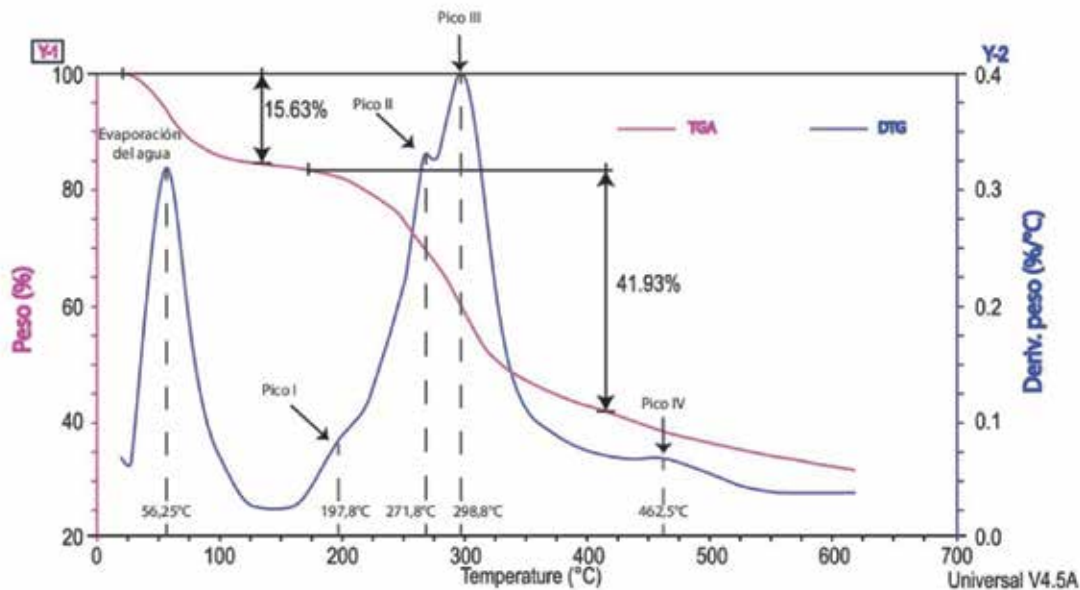


Figura 4. Termogramas TGA/DTG para la CMC.

La curva DTG es más precisa para analizar los rangos de temperaturas de degradación de los microconstituyentes primarios. Inicialmente, se observa un salto de gran magnitud que está vinculado con la eliminación de la humedad. A mayores temperaturas se manifiestan cuatro picos de descomposición, asociados con la relajación de la estructura. Un primer pico, en torno a los 197,8 °C, que representa la pérdida de extraíbles, ácidos grasos, aceites y resinas. El segundo pico, a los 271,8°C, corresponde a la degradación de la hemicelulosa. Luego aparece un máximo en la curva, entorno a los 298,8°C, ligado con la despolimerización de la celulosa. Por último, se evidencia un cuarto pico a los 462,5°C, que corresponde con el rompimiento de las cadenas que constituyen la lignina.

Navas et al. (2015), evaluaron las propiedades térmicas por TGA de los residuos de las cáscaras de olivo húmedas y secas, junto con los tallos de la uva en el proceso de producción para elaboración del vino. El análisis del DTG arrojó resultados similares a los aquí reportados, con cuatro estados de degradación de la estructura y uno relacionado a la evaporación del líquido retenido.

La evaluación morfológica de los residuos de cáscara de cacao, se llevó a cabo mediante el uso de la técnica de observación de microscopía electrónica de barrido (SEM), para identificar la microestructura de los CMC. En la Figura 5, se observa una estructura irregular amorfa con

tamaños de partícula que oscilan entre 100 y 300 micras. Superficies similares con imágenes de SEM, han sido reportadas en investigaciones realizadas por otros autores (Fioresi et al., 2017; Bargougui et al., 2018).

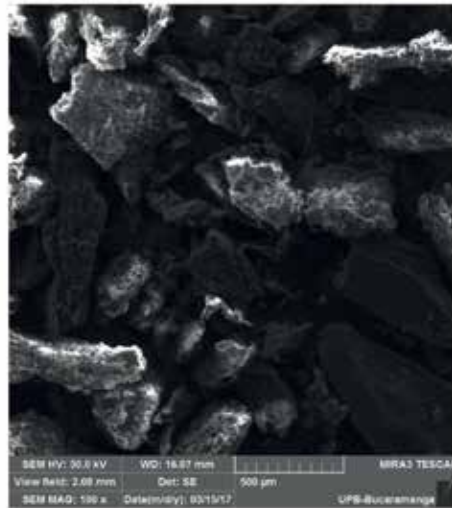


Figura 5. Estructura irregular amorfa de los residuos de la cáscara de cacao.

En la Figura 6 se observan diferentes granos que corresponden a la pared celular, con un espesor promedio de 5 micras, asociados a los componentes primarios de celulosa y lignina. Esto confirma los valores de los altos contenidos de celulosa y lignina, presentados en la composición química. Igualmente, en las micrografías se aprecia una estructura de microporos y una laminilla

media, que divide los granos entre sí de la pared celular. Algunos autores mencionan en sus estudios de especies vegetales con fibras naturales, la conformación de estructuras que contienen paredes celulares de grandes espesores separados por la laminilla media (Mora-Espinosa & Ramón-Valencia, 2017; Tibolla et al., 2018).

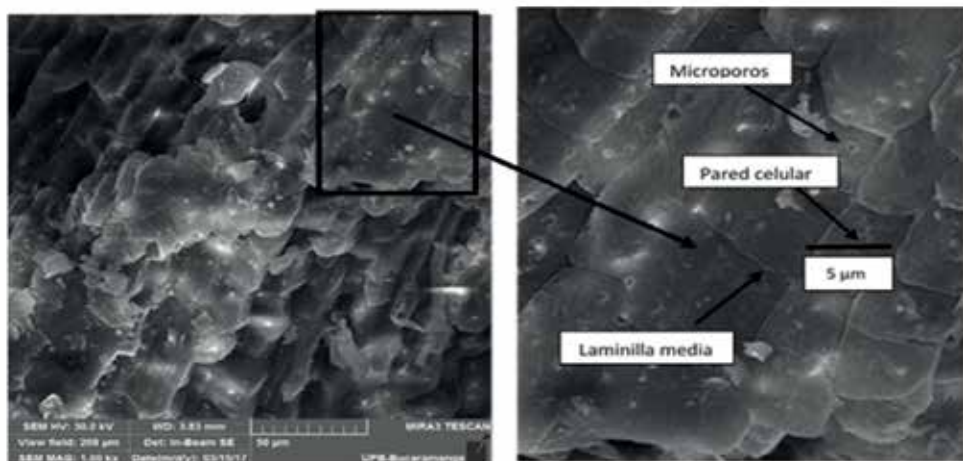


Figura 6. Microporosidad de la CMC.

4. Conclusiones

Los resultados de la composición química de los residuos de la cáscara de mazorca de cacao analizados, indican altos porcentajes de lignina, celulosa y hemicelulosa. Por lo tanto, este tipo de residuos se convierten en materia prima con potencial para conformar un material aglomerado, con buenas prestaciones en servicio.

De acuerdo con los resultados del análisis térmico, es preciso realizar un pretratamiento de secado a los desechos como consecuencia de su alta capacidad higroscópica. Esto prevendrá una gran absorción de la humedad, evitando el hinchamiento del aglomerado.

En síntesis, los residuos de cáscara de mazorca de cacao, variedad CCN 51, se presentan como una alternativa viable económicamente y sostenible ambientalmente para ser empleada en la elaboración de tableros aglomerados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al laboratorio de biocalorimetría, de la Universidad de Pamplona, por el acompañamiento en el análisis térmico de las muestras, junto con el apoyo técnico-científico para el desarrollo de la investigación. También se agradece a la Universidad Santo Tomás, por el préstamo de los laboratorios para las imágenes SEM.

Referencias

Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O., & Gañan, P. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados autoenlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospectiva*, 7 (2), 69-74.

António, J., Tadeu, A., Marques, B., Almeida, J., & Pinto, V. (2018). Application of rice husk in the development of new composites boards. *Construction and Building Materials*, 176, 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.028>

Anzules-Toala, V., Borjas-Ventura, R., Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano,

A. (2019). Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* 'CCN-51'. *Scientia Agropecuaria*, 10 (4), 511-520. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08>

ASTM. (2011). Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials D1554-10, 1-4. <https://doi.org/10.1520/D1554-10>

Bargougui, R., Bouazizi, N., Brun, N., Nkuigie, P., Thoumire, O., Ladam, G., Djoufac, E., Mofaddel, N., Le Derf, F., & Vieillard, J. (2018). Improvement in CO₂ adsorption capacity of cocoa shell through functionalization with amino groups and immobilization of cobalt nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.079>

Diossa, G., Velásquez, J., Quintana, G., & Gómez, V. (2017). Efecto de la presión de prensado y la adición de lignina Kraft en la producción de tableros aglomerados autoenlazados a partir de *Gynerium sagittatum* pretratada con vapor. *Madera, Ciencia y Tecnología*, 19 (4), 525-538. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005001201>

Fioresi, F., Vieillard, J., Bargougui, R., Bouazizi, N., Nkuigie, P., Djoufac, E., Brun, N., Mofaddel, N., & Le Derf, F. (2017). Chemical modification of the cocoa shell surface using diazonium salts. *Journal of Colloid and Interface Science*, 494, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.069>

Franco, M., Ramírez, M., García, R., Bernal, M., Espinosa, B., Solís, J., & Durán, C. (2010). Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: Cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 1 (2), 45-66.

Fedecacao. (2013). Situación mundial y nacional de la cacaocultura. Bucaramanga, Colombia.

García-González, E., Ochoa-Muñoz, A. F., Montalvo-Rodríguez, C., Ordoñez-Narvaéz, G. A., & Londoño-Hernández, L. (2021). Sucesión microbiana durante la fermentación espontánea de cacao en unidades productivas. *Ciencia en De-*

sarrollo, 12 (2). <https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n2.2021.12242>

González-Rivera, J. E., Jaramillo-Ponce, J. P., Pérez-Quintana, M., & Oliva-Merencio, D. (2018). Evaluación físico-mecánicas de tableros a base del Aserrín de Pigüe (*Piptocoma discolor*) y bagazo de caña de azúcar en Pastaza. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 7 (2), 95-104.

Guerrero, G., Suárez, D., & Orozco, D. (2017). Implementación de un método de extracción de pectina obtenida del subproducto agroindustrial cascarilla de cacao. *Temas Agrarios*, 22 (1), 85-90. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.919>

Herrera-Rengifo, J. D., Villa-Prieto, L., Olaya-Cabrera, A., & García-Alzate, L. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33 (2), 25-34. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002>

Martínez-Angel, J., Villamizar-Gallardo, R., & Ortiz-Rodríguez, O. (2015). Caracterización y evaluación de la cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.) como fuente de energía renovable. *Agrociencia*, 49 (3), 329-345.

Mejía-Almeida, M. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados autoadheridos a partir de fibra de raquis de Palma Africana (Elaeis guineensis Jacq.)* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Mora-Espinosa, W., & Ramón-Valencia, B. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41 (161), 479-489. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.525>

Morales-Zamora, M., González-Suárez, E., & Mesa-Garriga, L. (2016). Avances en la obtención de tableros de fibras a partir de mezclas residuales lignocelulósicos de bagazo. *Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73 (575), 205-209.

Monteiro, R., Marin, L., Monteiro, K., Oliveira, L., & Roberto, V. (2011). Hybrid chipboard panels

based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Industrial Crops & Products*, 33 (2), 369-373. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>

Navas, C., Reboredo, M., & Granados, D. (2015). Comparative Study of Agroindustrial Wastes for their use in Polymer Matrix Composites. *Procedia Materials Science*, 8, 778-785. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.135>

Pardo-Rodríguez, M. L., & Zorro-Mateus, P. J. P. (2021). Biodegradation of polyvinyl chloride by *Mucor* s.p. and *Penicillium* s.p. isolated from soil. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11 (2), 387-400. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n2.2021.12763>

Peñaranda-González, L., Montenegro-Gómez, S., & Giraldo-Abad, P. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8 (2), 141-150.

Plasencia-Verde, C. C., Grabiell-Rios, K. S., Luque, J. A., & Best, I. K. (2021). Evaluación del potencial energético de residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) por medio de celdas de combustible microbiano (CCM). *Información Tecnológica*, 32 (4), 89-98. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000400089>

Salamanca, S. (2012). Compostaje de residuos agroindustriales en Colombia. *Técnicaña* (28), 13-18.

Sánchez-Olaya, D. M., Rodríguez-Pérez, W., Castro-Rojas, D. F., & Trujillo-Trujillo, E. (2019). Respuesta agronómica de mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia en Desarrollo*, 10 (2), 43-58. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.7958>

Tejada, C. N., Almanza, D., Villabona, A., Colpas, F., & Granados, C. (2017). Characterization of activated carbon synthesized at low temperature from cocoa shell (*Theobroma cacao*) for adsorbing amoxicillin. *Ingeniería y competitividad*, 19 (2), 45-54.

Tibolla, H., Pelissari, F. M., Martins, J. T., Vicente, A. A., & Menegalli, F. C. (2018). Cellulose nanofi-

bers produced from banana peel by Chemical and mechanical treatments: Characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*, 75, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.027>

Yepes, S., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales -frutas- en Medellín y el sur del Valle de Aburrá. Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61 (1), 4422-4431.

Yusriah, L., Sapuan, S., Zainudin, E., & Mariatti, M. (2014). Characterization of physical, mechanical, thermal and morphological properties of agro-waste betel nut (Areca catechu) husk fiber. *Journal of Cleaner Production*, 72, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.025>