

Elaboración de aglomerados auto adheridos a partir de residuos agroindustriales Manufacture of binderless chipboards from agro-industrial waste

Stephanie Villalobos-García ^{a,*}, Ernesto Ocampo-Ruiz ^a

^a *Campo de Tecnologías, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.*

Resumen

La mayoría de los aglomerados para la construcción utilizan resinas plásticas basadas en compuestos tóxicos que se aplican a espacios cerrados y disminuyen la calidad del aire interior, además de ser considerados cancerígenos. No obstante, la creciente demanda de estos materiales por la construcción tras la acelerada urbanización, así como el limitado recurso forestal del que se obtienen hacen que sea fundamental buscar otro tipo de alternativas más amigables con el medio ambiente. Bajo esta premisa, se tuvo como objetivo desarrollar un compuesto aglomerado auto adherido para su uso como tableros de muros divisorios interiores mediante el aprovechamiento del desecho agroindustrial de la industria del aceite de palma y fibras de coco. La conformación del aglomerado se realizó mediante un proceso de termo compresión que permitió el ablandamiento de la lignina, lo que sirvió de aglutinante para las fibras y les confirió de rigidez sin la necesidad de utilizar adhesivos sintéticos.

Palabras Clave: Fibras, Lignina, Biocompuesto, Aglomerado auto adherido, Desecho agroindustrial.

Abstract

Most of the construction agglomerates use plastic resins based on toxic compounds that are applied to closed spaces and decrease the quality of indoor air, in addition to being considered carcinogenic. However, the growing demand for these materials for construction after rapid urbanization, as well as the limited forest resource from which they are obtained, make it essential to seek other types of more environmentally friendly alternatives. Under this premise, the objective was to develop a self-adhered agglomerated composite for use as interior dividing wall boards by taking advantage of agro-industrial waste from the palm oil and coconut fiber industry. The conformation of the agglomerate was carried out through a thermo-compression process that allowed the softening of the lignin, which served as a binder for the fibers and gave them rigidity without the need to use synthetic adhesives.

Keywords: Fibers, Lignin, Biocomposite, Binderless chipboard, Agro-industrial waste.

1. Introducción

La búsqueda de alternativas a los plásticos utilizados en los espacios habitables aún es muy escasa. La mayoría de las investigaciones se enfocan principalmente en la sustitución de empaques y embalajes debido a que los estragos causados por sus desechos son más visibles.

Actualmente el 75% del plástico producido se convierte en desechos (Geyer et al., 2017). Estos desechos se acumulan en basureros de cielo abierto o rellenos sanitarios no controlados. La peor parte es que la mayoría termina en la naturaleza, especialmente en los océanos.

No obstante, no hay que olvidar que las construcciones consumen otro tipo de materias primas como: agua, maderas,

materiales vírgenes y energía proveniente de recursos fósiles, sin mencionar que en el ciclo de vida de los materiales se emiten gases de efecto invernadero y otros contaminantes (Enshassi et al., 2014).

Por estas razones, es importante seguir con el desarrollo de materiales orgánicos obtenidos de fuentes renovables y que sean completamente biodegradables. Considerando los aspectos medioambientales, los compuestos verdes, una mezcla que aprovecha polímeros naturales y fibras vegetales, prometen ser una opción más sostenible (Ilyas et al., 2020).

1.1. Antecedentes

*Autor para la correspondencia: stephanieviga@gmail.com

Correo electrónico: stephanieviga@gmail.com (Stephanie Villalobos-García), arqroernie@yahoo.com (Ernesto Ocampo-Ruiz).

La industria de la madera aglomerada se remonta desde la segunda guerra mundial, que es cuando se efectuaron los primeros experimentos en aprovechamiento de los residuos de la madera y los cuales se reducían a partículas pequeñas para ser mezcladas con resinas. Asimismo, su escasez en la posguerra propició el desarrollo de tecnología avanzada para su molienda y fabricación. (FAO, 1957).

En México se estima que la remoción anual de madera es del orden de los 56 millones de m³ por año. Lo que le ha dado uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo y ha sido causal de otros problemas tales como: sobre explotación del recurso; dependencia de productos forestales externos y degradación del medio ambiente. Sin embargo, la producción de madera aserrada presenta un crecimiento promedio del 1.0% y el aserrío nacional solo cubre el 76% de la demanda anual, consumo que se centra principalmente en la industria del mueble y el sector de la construcción (Torres, 2020).

1.2. Residuos sólidos agrícolas

Las actividades antropogénicas han generado tanto un desarrollo desmedido de la economía como un incremento de residuos o materiales que son descartados con rapidez, cuando éstos tienen una gestión inadecuada se generan efectos nocivos que hoy en día son más visibles. Tal es el caso de las actividades agrícolas, en donde no se realiza la disposición adecuada de residuos y se terminan incinerando. Si bien esto permite eliminar el material emite a escala mundial de su total 40% en CO₂, 32% en CO, 20% en material particulado y 50% en hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Porras y González, 2016). En la era preindustrial se tenía un umbral de concentración de CO₂ de alrededor de 280 partes por millón (ppm), y apenas en 2018 esta cantidad casi se duplicó a las 408.6 ppm (SEMARNAT, 2018).

De igual forma, el material particulado proveniente del humo de incineración está conformado en su mayoría por partículas menores a 10 micrómetros, denominadas PM₁₀, las cuales se caracterizan por ingresar fácilmente a los pulmones y perjudicar su absorción de oxígeno (Quintero y Moncada, 2008). Según la Norma Oficial Mexicana NOM-025 (Diario Oficial de la Federación, 2021) el valor límite para una buena calidad del aire de las partículas PM₁₀ es de 36 microgramos por metro cúbico (µg/m³), promedio anual, pero se estima que de la quema de residuos como algodón o sorgo genera una emisión anual de 13.37 g y 21.56 g de PM₁₀ sobre kilogramo de residuo incinerado, respectivamente (Álvarez, 2016).

Por otro lado, la agroindustria es otro tipo de actividad que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas (Saval, 2012), de las cuales destacan la del arroz, la molienda granos (cereales), la oleica y la cervecera. Cada vez más su valor se reconoce para una multiplicidad de usos, representan una fuente potencial sustancial de materia prima renovable para el futuro (Atchison, 1976).

1.3. Aglomerados sin adhesivos sintéticos

La sobreexplotación de los recursos madereros por la creciente demanda de compuestos aglomerados a nivel mundial ha hecho que las investigaciones se centren en la

búsqueda del aprovechamiento de otro tipo de fibras lignocelulósicas como las resultantes de los residuos agroindustriales. El uso de estos desechos, que son otra problemática, permitirá su reutilización y valorización en el campo de la construcción.

Debido a su abundancia, subutilización y bajo costo, se plantean como una de las mejores alternativas en sustitución de los productos forestales. Su composición química es similar a la madera (Singh et al., 2017). En general, los aglomerados comerciales utilizan fibras lignocelulósicas mezcladas con adhesivos sintéticos, sin embargo, se ha planteado que la lignina tiene la capacidad de sustituir a estos últimos. Esto debido a su buena capacidad de unión y su corto periodo de curado (Anglès et al., 1999). Adicionalmente, la lignina presente en los subproductos vegetales funciona como un adhesivo en su estructura celular (Börcsök y Pásztor, 2021), además se asemeja a un sellador que reduce permeación de agua a través de las paredes celulares y actúa como una defensa natural contra su deterioro (Ang et al., 2019). Por lo cual, resulta ser un componente vital en la producción de aglomerados auto adheridos, es decir, sin la adición de resina sintética alguna.

Por esta razón y en aprovechamiento del potencial auto adhesivo de los residuos sólidos agrícolas, encontramos investigaciones que desarrollan la fabricación de aglomerados a base de: restos del racimo de plátano (Quintana et al., 2009); paja de trigo (Wang et al., 2019); poda de vid (Mancera et al., 2012); bagazo de caña (Yano et al., 2020); paja de arroz (Theng et al., 2019), tallo de la planta de algodón (Fahmy & Mobarak, 2013), fronda o tallo de la palma de aceite (Iling et al., 2019) (Boon et al., 2019); cáscara de coco (Araújo Junior et al., 2018).

Para la fabricación de este tipo de aglomerados se distingue el proceso de formación en húmedo; durante la termocompresión el hidrogeno en el agua permite mejorar el comportamiento adhesivo de la lignina a través de su ablandamiento (Vitrone et al., 2021).

La termocompresión es uno de los procesos de manufactura más utilizados en la conformación de aglomerados, aquí las variables como temperatura, presión, tiempo de prensado, espesor, tamaño de partícula y porcentaje de humedad tienen relación directa con las propiedades mecánicas. Con el aumento de la temperatura en el prensado, las propiedades mecánicas incrementan, pero a muy altas temperaturas se da la formación de grietas, aspecto rugoso y apariencia quemada (Herrera et al., 2011).

La humedad también influye en el proceso, esta variable permite transferir el calor en forma de vapor y plastificar las fibras, lo que aumenta la densidad de los aglomerados, su módulo de elasticidad y su módulo de ruptura. Al aumentar el contenido de humedad se puede reducir la temperatura de ablandamiento de la lignina y producirla en la capa interior, lo que permite que se fusione y fluya por todo el tablero (Xie et al., 2012).

La compresión forzada sobre las paredes celulares de las fibras durante el prensado en caliente aumenta la compacidad en el tablero y reduce la presencia de espacios vacíos que pudieran afectar sus propiedades físicas y mecánicas (Zuber et al., 2020).

No solamente los pretratamientos o las variables al momento del prensado mejoran las propiedades de los aglomerados, también se puede producir mediante la

introducción de un adhesivo. Existen investigaciones sobre reemplazar el fenol en resinas fenólicas con lignina sin perder propiedades adhesivas (Mancera et al., 2011). La lignina actúa junto con la hemicelulosa como un adhesivo natural perfecto para cualquier material celulósico (Ghaffar y Fan, 2014).

Las ligninas son menos tóxicas y más baratas que el fenol, se pueden dividir en dos categorías: lignosulfonatos y ligninas kraft, ambas se producen en grandes cantidades por la industria papera, que usualmente se queman para generar energía y recuperar productos químicos (Mancera et al., 2011). También se han utilizado como aglutinantes para mezclarse con fibras lignocelulósicas, como residuos del tallo de maíz (Theng et al., 2017), con virutas de madera de aliso gris (Tupciauskas et al., 2017) o con madera blanda triturada de abeto (Anglès et al., 2001) para formar nuevos aglomerados.

2. Materiales y método

2.1. Materiales

Para la construcción del prototipo se seleccionaron dos tipos de materiales que cumplieran con las siguientes características: basados en recursos naturales, fácil disponibilidad en el mercado, biodegradable, compostable, buena resistencia, buen porcentaje de celulosa y/o lignina, se puede obtener de recursos locales y regionales y su proceso de producción será reproducible. En consecuencia, se eligieron dos tipos de fibras; las fibras provenientes del raquis de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) como refuerzo y las fibras de coco (*Cocos nucifera* L.) como adhesivo, ver figura 1.

La fibra del raquis de la palma aceitera se obtiene de la extracción de semillas oleaginosas de racimos de frutas para la extracción de aceite. El rendimiento medio de la fibra es de unos 400 g por racimo y entre sus características principales destacan su resistencia a la tracción y alta rigidez (Sreekala et al., 1997).

Mientras que las fibras de coco son las que se extraen del mesocarpio de la fruta de coco y son conocidas también como bonote. Se distinguen por ser difíciles de romper, soportar ataques bacterianos y sobre todo por tener un alto contenido de lignina. Lo cual se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano (Coloma, 2018) (García y Salcedo, 2006).

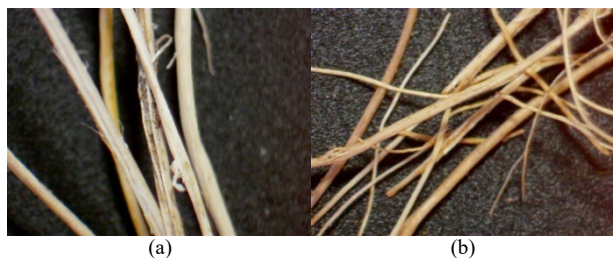


Figura 1: Fotografía con objetivo 1x, (a) fibras de raquis de palma aceitera y (b) fibras de bonote de coco.

Las fibras del raquis por sí solas cuentan con un porcentaje de lignina, las cuales son consideradas un termofijo, cuando se calientan se ablandan y al secarse endurecen. Sin embargo, al no poseer suficiente lignina al momento que pase por el prensado en caliente puede haber problemas en la unión con la celulosa que afecte las propiedades mecánicas del material. Por esta razón se combinarán con fibras de coco las cuales poseen

un porcentaje de lignina similar a las de la madera, del 19% (Jawaid et al., 2017), mientras que las fibras del raquis de la palma aceitera tienen entre el 10% y el 15% (Hassan et al., 2010).

Para la recolección de las fibras se contactó con dos empresas diferentes; la primera, Oleopalma S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Mapastepec en el estado de Chiapas, ver figura 2, y la segunda, Aceites de Palma, S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Acayucan en el estado de Veracruz. En ambas, se hace la extracción de aceite de palma y el procesamiento es el mismo. Llegan los camiones con el raquis de la palma, se pesan y pasan a un proceso de limpieza con vapor de agua hirviendo. Lo anterior es para esterilizarlas y facilitar el desprendimiento del fruto. Después de este paso queda el residuo del raquis todavía con restos de aceite, calientes y con un olor peculiar.

Al ser un residuo agroindustrial las fibras resultaron ser gratuitas puesto que para las fábricas se considera basura. De lo que se transportó surgieron las siguientes observaciones: para su recolección se necesita el raquis recién desfrutado, llevar en una bolsa que permita su transpiración y posterior a esto se debe hacer la limpieza en remojo con jabón neutro para evitar la proliferación de moho. Una vez secas, las fibras detienen su proceso de pudrición como cualquier otro material lignocelulósico derivado de la madera y no presentan ningún olor molesto.



Figura 2: Fotografía del acceso a la fábrica extractora, pila de desecho de raquis a cielo abierto.

Para la adquisición de las fibras de coco se realizó la compra a Agro insumos “La Hacienda”, ubicada en el Estado de México, de las cuales se solicitó su versión en fibras cortas de largos máximos de 20 milímetros. Las fibras del raquis de palma aceitera son largas, por lo que para tener una mezcla homogénea con las de coco se molieron permitiendo llegar al mismo tamaño. El tamaño final de la partícula se obtuvo mediante el tamizado y lo recolectado en las mallas 60 (0.35mm) y 40 (0.45mm).

2.2. Equipo

Por consiguiente, se tomó a consideración la fabricación de un termocompresor, la referencia esquemática de este tipo de equipos se realizó de acuerdo a investigaciones similares (Hidayat et al., 2014), donde se adaptan dos platos calefactores, inferior y superior, a una prensa hidráulica. En este caso, se elaboró la estructura base y las placas metálicas a base de acero al carbón, las cuales sirven de molde y cuyas dimensiones finales son de 400 mm x 200 mm x 10 mm (largo x ancho x grosor). El gato hidráulico hace presión hacia abajo,

y se controla mediante un manómetro que alcanza los 5000 psi o los 350 kg/cm². Por otra parte, los platos calefactores pueden llegar hasta los 300° C de temperatura, la cual puede establecerse por un pirómetro digital, ver figura 3.



Figura 3: Fotografía de prensa hidráulica con platos calefactores.

2.3. Preparación de los biocompuestos

Las variables como presión, humedad, tiempo y temperatura si bien están definidas por la literatura, surgen en la investigación dos interrogantes: la primera es que hay pocos estudios para su definición en la parte del raquis de la palma aceitera y en segundo, se debe de comparar el calor para el ablandamiento de la lignina tanto del raquis de palma como del coco, sin que llegue a perjudicar la integridad de una o ambas.

Para conocer las variables del proceso de termocompresión se establecieron valores cercanos conforme a lo investigado en estudios similares. De lo cual, se tomó en consideración lo siguiente: para las fibras provenientes del tronco de la palma aceitera se aplicaron temperaturas en el rango de 160° C a 200° C, con una presión de 5 MPa, tiempos de presión sostenida de 20 a 30 minutos, tamaño de partícula de 1 mm y porcentajes de humedad del 7 % y 8 % (Baskaran et al., 2015) (Hashim et al., 2011); mientras que para las fibras de coco se aplicaron temperaturas en el rango de 180° C a 220° C, con presiones de 250 a 450 kg/m³, tamaños de partícula de 8 mm a 10 mm y tiempos de presión sostenida de 7 a 13 minutos (Panyakaew y Fotios, 2011). De esta manera se establecieron cambios en el tamaño de partícula, humedad, temperatura y tiempo de compresión, ver tabla 1, que fueron aplicados a cada tipo de mezcla.

Tabla 1: Valores de las variables del proceso de termocompresión en las pruebas preliminares para la obtención de los aglomerados auto adheridos

Variable	Valores mínimos	Valores máximos
Tamaño de fibra (mm)	0.45-0.30	10
Humedad (%)	15	25
Temperatura (°C)	160	180-200
Tiempo de compresión (min)	10	30
Presión (kg/cm ²)	200 kg/cm ²	200 kg/cm ²

El procedimiento de preparación para el muestreo fue mediante el mezclado de los dos tipos de fibras en diferentes proporciones; 100% fibras de coco, 80% fibras de palma aceitera y 30% fibras de coco, y 80% fibras de palma aceitera y 20% fibras de coco. Cuarenta gramos de la mezcla se distribuyeron uniformemente a un octavo del tamaño del

molde del equipo con dimensiones de 100 x 100 mm (largo x ancho), mientras que el agua (humedad), se agregó en porcentaje del peso de la mezcla, seguido se procedió del termo prensado. Todas las muestras se fabricaron a una presión de 200 kg/cm², para obtener un aglomerado de 8 mm de espesor final con una densidad promedio de 0.4 g/cm³.

3. Resultados y discusión

En este primer avance de resultados y para determinar la influencia de cada variable en la elaboración de los aglomerados se realizó un análisis cualitativo de acuerdo a las condiciones de color y dureza al raspado, las cuales son las características físicas determinantes según los criterios de investigaciones previas (Almeida, 2012). En la primera tanda de probetas con el tamaño de partícula de 10 mm se obtuvieron las siguientes conjeturas preliminares, ver figura 4:

- El calor a 160°C es suficiente para plastificar el material. Solamente requiere más presión y tiempo de compresión.
- Al subir la temperatura por encima de los 200°C, pero con la misma presión, las fibras se carbonizan.
- Se intentó realizar un espécimen más denso, mediante la colocación de dos capas por separado. Colocando una capa, luego comprimirla un minuto, descomprimirla y agregar otra capa, pero no existió buena adhesión, puesto que no se logra transferir el calor a la primera capa. Por lo que todo el material se deberá realizar en una solo etapa de compresión.

Como resultado se confirma que, a los 200°C, a pesar de la introducción de humedad en las caras se vislumbra una carbonización. Asimismo, las muestras con humedad del 15 % demostraron ser las más firmes y homogéneas en cuanto al color.

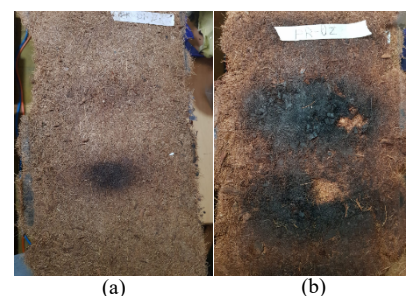


Figura 4: Fotografías del aspecto de las muestras con tamaño de partícula de 10 mm, (a) temperatura a 160°C y (b) temperatura a 200°C.

En una segunda muestra con un tamaño de partícula más pequeño se obtuvieron piezas más consolidadas y de mejor estabilidad dimensional, lo que generó el establecimiento de los siguientes resultados, ver figura 5:

- El calor a 180°C es suficiente para plastificar el material a un tamaño de partícula de 0.45-0.30 mm.

- La mezcla con este tamaño de partícula fue más homogénea y por lo tanto la humedad penetra en la mayor área posible de la pieza.
- En este caso, la humedad del 25% mejoró la rigidez del tablero, se logró un color más uniforme, sin quemaduras y un acabado más homogéneo.
- Si se requirió un tiempo de compresión mayor de cerca de 30 minutos, ya que a menos tiempo salían endebles las muestras.

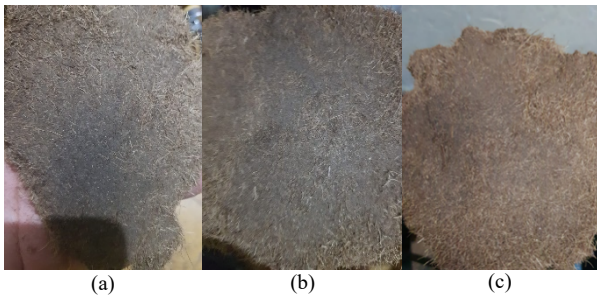


Figura 4: Fotografías del aspecto de las muestras con tamaño de partícula de 0.45-0.30mm, (a) temperatura a 200°C y humedad del 15%, (b) temperatura a 180°C y humedad del 15% y (c) temperatura a 180°C y humedad del 25%.

4. Conclusiones

Se obtuvieron aglomerados a base de fibras del raquis de la palma aceitera y fibras de coco mediante un proceso de termocompresión, a una temperatura constante de 180°C con una presión de 200 kg/cm², un tamaño de partícula de 0.45 y 0.30 mm durante 30 minutos. A temperaturas superiores a 200°C, los aglomerados mostraron zonas carbonizadas, esto debido a que el agua en la cara se evapora con rapidez y queda expuesta a la placa de calor, además de que la fibra comienza su degradación a esta temperatura. Por esta razón, la humedad es importante en el proceso ya que ayuda a que no se queme la fibra y mejora su plastificación. Se demostró que la mezcla de las fibras del raquis con las de coco es compatible, sin embargo, para obtener una mejor cohesión en el mezclado se tuvo que utilizar un tamaño de partícula más pequeño, ubicado en lo retenido en las mallas 40 y 60. Se puede evitar el uso de aglutinantes sintéticos y obtener una reutilización de residuos agroindustriales como materia prima en la conformación de aglomerados. Para la realización de futuras muestras se va a incrementar la presión para observar si mejora la fluidez de la lignina en las fibras.

La siguiente etapa de esta investigación implica la evaluación de las propiedades mecánicas de los aglomerados de acuerdo con la norma internacional ASTM D-1037 “Métodos estándar para la evaluación de las propiedades de tableros aglomerados a base de fibras de madera y partículas”. Los resultados proporcionarán la información correspondiente para corroborar si su umbral de actuación cumple con los requisitos mínimos por normatividad para su correcto funcionamiento como tablero aglomerado. Asimismo, servirá para comparar con los resultados de otras investigaciones la influencia de las fibras de coco en las propiedades mecánicas de aglomerados a base de fibras de la palma aceitera.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

Referencias

- Almeida, M. E. M. (2012). Elaboración de tableros aglomerados auto-adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). 200.
- Álvarez, D. V. M. (2016). Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO₂), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM_{2.5} y PM₁₀) y contaminantes de vida corta, metano (CH₄) y carbono negro por prácticas de quema agrícola. 78.
- Ang, A. F., Ashaari, Z., Lee, S. H., Md Tahir, P., & Halis, R. (2019). Lignin-based copolymer adhesives for composite wood panels – A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 95, 102408. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102408>
- Anglès, M. N., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvadó, J. (2001). Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy*, 21(3), 211-224. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00031-9)
- Anglès, M. N., Reguant, J., Montané, D., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvadó, J. (1999). Binderless composites from pretreated residual softwood. *Journal of Applied Polymer Science*, 73(12), 2485-2491. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19990919\)73:12<2485::AID-APP17>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990919)73:12<2485::AID-APP17>3.0.CO;2-G)
- Araújo Junior, C. P., Coaquira, C. A. C., Mattos, A. L. A., de Souza Filho, M. de S. M., Feitosa, J. P. de A., Morais, J. P. S. de, & de Freitas Rosa, M. (2018). Binderless Fiberboards Made from Unripe Coconut Husks. *Waste and Biomass Valorization*, 9(11), 2245-2254. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9979-9>
- Atchison, J. E. (1976). *Agricultural Residues and Other Nonwood Plant Fibers*. Science, 191(4228), 768-772.
- Baskaran, M., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sato, M., & Sugimoto, T. (2015). Optimization of press temperature and time for binderless particleboard manufactured from oil palm trunk biomass at different thickness levels. *Materials Today Communications*, 3, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2015.04.005>
- Boon, J. G., Hashim, R., Danish, M., & Nadhari, W. N. A. W. (2019). Physical and Mechanical Properties of Binderless Particleboard Made from Steam-Pretreated Oil Palm Trunk Particles. *Journal of Composites Science*, 3(2), 46. <https://doi.org/10.3390/jcs3020046>
- Böresök, Z., & Pásztor, Z. (2021). The role of lignin in wood working processes using elevated temperatures: An abbreviated literature survey. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(3), 511-526. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01637-3>
- Coloma, I. T. (2018). Obtención de celulosa micro cristalina a partir de la fibra de estopa de coco. 91.
- Diario Oficial de la Federación. (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>
- Fahmy, T., & Mobarak, F. (2013). Advanced binderless board-like green nanocomposites from debarked cotton stalks and mechanism of self-bonding. *Cellulose*, 20, 1453-1457. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9911-9>
- FAO. (1957). *Productos forestales*. <https://www.fao.org/3/x5385s/x5385s06.htm>
- García, S. L. Q., & Salcedo, L. O. G. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. 18.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Ghaffar, S. H., & Fan, M. (2014). Lignin in straw and its applications as an adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 48, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.09.001>

- Hashim, R., Said, N., Lamaming, J., Baskaran, M., Sulaiman, O., Sato, M., Hiziroglu, S., & Sugimoto, T. (2011). Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Materials & Design*, 32(5), 2520-2525. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.053>
- Hassan, A., Salema, A. A., Ani, F. N., & Bakar, A. A. (2010). A review on oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polymer composite materials. *Polymer Composites*, 31(12), 2079-2101. <https://doi.org/10.1002/pc.21006>
- Herrera, J. F. D. L. C., Rojo, Ú. M., Parra, S. B., & López, C. Á. (2011). Efecto de la temperatura de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resina sintética. *Prospectiva*, 9(2 (julio-diciembre)), 75-80.
- Hidayat, H., Keijsers, E. R. P., Prijanto, U., van Dam, J. E. G., & Heeres, H. J. (2014). Preparation and properties of binderless boards from *Jatropha curcas* L. seed cake. *Industrial Crops and Products*, 52, 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.024>
- Iling, E., Hazimmah Ali, D. S., & Osman, M. S. (2019). Effect of Pressing Pressure on Physical and Mechanical Properties of *Elaeis Guineensis* Fronds Composite Board. *e-BANGI Journal*, 16(3), 1-12.
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Kadir, A., Krishnan, S., Atikah, M. S. N., Ibrahim, R., Nazrin, A., Syafiq, R., Misri, S., Huzairah, M. R. M., & Hazrol, M. D. (2020). Chapter 7—Mechanical Testing of Sugar Palm Fiber Reinforced Sugar Palm Biopolymer Composites. En F. M. Al-Oqla & S. M. Sapuan (Eds.), *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers* (pp. 89-110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819661-8.00007-X>
- Jawaid, M., Sapuan, S. M., & Althman, O. Y. (Eds.). (2017). *Green Biocomposites: Design and Applications*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49382-4_2
- Mancera, C., El Mansouri, N.-E., Pelach, M. A., Francese, F., & Salvadó, J. (2012). Feasibility of incorporating treated lignins in fiberboards made from agricultural waste. *Waste Management*, 32(10), 1962-1967. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.019>
- Mancera, C., Ferrando, F., Salvadó, J., & El Mansouri, N. E. (2011). Kraft lignin behavior during reaction in an alkaline medium. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 2072-2079. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.001>
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, 43(7), 1732-1739. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90-107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Quintana, G., Velásquez, J., Betancourt, S., & Gañán, P. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>
- Quintero, M., & Moncada, A. (2008). Contaminación y control de las quemaduras agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. *Región y sociedad*, 20(43), 3-24.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. 16(2), 34.
- SEMARNAT. (2018). Informe del Medio Ambiente. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Singh, A. A., Afrin, S., & Karim, Z. (2017). Green Composites: Versatile Material for Future. En M. Jawaid, M. S. Salit, & O. Y. Althman (Eds.), *Green Biocomposites: Design and Applications* (pp. 29-44). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49382-4_2
- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., & Thomas, S. (1997). Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 66(5), 821-835. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19971031\)66:5<821::AID-APP2>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19971031)66:5<821::AID-APP2>3.0.CO;2-X)
- Theng, D., Arbat, G., Delgado-Aguilar, M., Ngo, B., Labonne, L., Mutjé, P., & Evon, P. (2019). Production of fiberboard from rice straw thermomechanical extrudates by thermopressing: Influence of fiber morphology, water and lignin content. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1358-0>
- Theng, D., Mansouri, N.-E. E., Arbat, G., Ngo, B., Delgado-Aguilar, M., Pelach, M. A., Fullana-i-Palmer, P., & Mutjé, P. (2017). Fiberboards Made from Corn Stalk Thermomechanical Pulp and Kraft Lignin as a Green Adhesive. *BioResources*, 12(2), 2379-2393.
- Torres, J. (2020). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. <https://www.fao.org/3/j2215s/j2215s06.htm>
- Tupciauskas, R., Gravitis, J., Abolins, J., Veveřis, A., Andzs, M., Liitia, T., & Tamminen, T. (2017). Utilization of lignin powder for manufacturing self-binding HDF. *Holzforschung*, 71(7-8), 555-561. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0180>
- Vitrone, F., Ramos, D., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2021). Binderless fiberboards for sustainable construction. *Materials, production methods and applications*. *Journal of Building Engineering*, 44, 102625. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2021.102625>
- Wang, J., Wang, B., Liu, J., Ni, L., & Li, J. (2019). Effect of Hot-Pressing Temperature on Characteristics of Straw-Based Binderless Fiberboards with Pulp Mill Effluent. *Materials*, 12(6), 922. <https://doi.org/10.3390/ma12060922>
- Xie, L., Liu, J., & Du, A. (2012). Effect of hot-pressing factors on binderless fiberboard properties. *Proceedings of 2012 International Conference on Biobase Material Science and Engineering*, 8-11. <https://doi.org/10.1109/BMSE.2012.6466168>
- Yano, B. B. R., Silva, S. A. M., Almeida, D. H., Aquino, V. B. M., Christoforo, A. L., Rodrigues, E. F. C., Junior, A. N. C., Silva, A. P., & Lahr, F. A. R. (2020). Use of Sugarcane Bagasse and Industrial Timber Residue in Particleboard Production. *BioResources*, 15(3), 4753-4762. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.4753-4762>
- Zuber, S. H., Hashikin, N. A. A., Mohd Yusof, M. F., & Hashim, R. (2020). Lignin and soy flour as adhesive materials in the fabrication of *Rhizophora* spp. Particleboard for medical physics applications. *The Journal of Adhesion*, 0(0), 1-20. <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1839430>