

# Aprovechamiento de desechos lignocelulósicos derivados de la producción industrial de aceite de palma en el desarrollo de materiales compuestos

## Exploitation of lignocellulosic wastes derived from palm oil industrial production for composite materials development.

Presentación: 00/00/0000

### Doctorando:

#### **Lauro Vladimir Valle Alvarez**

Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador

Centro Experimental de la Vivienda Económica – CONICET

Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba

[vladimirvalle81@hotmail.com](mailto:vladimirvalle81@hotmail.com)

### Director/es:

**Dr. Jerónimo Kreiker - Director**

**Dra. Belén Raggiotti - Codirectora**

**Dr. Francisco Cadena - Codirector**

### Resumen

La creciente actividad industrial de extracción del aceite de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq.*) en el Ecuador ha provocado la generación de elevados volúmenes de residuos de raquis, los cuales actualmente son dispuestos a cielo abierto en las plantaciones de este vegetal. Por tal motivo, el objetivo de la propuesta doctoral es obtener materiales compuestos a partir de matrices termoplásticas y desechos lignocelulósicos derivados de la producción industrial de aceite de palma africana en Ecuador. Como etapa inicial se ha realizado la recolección y molienda de los desechos de fibra. Una vez determinado el comportamiento granulométrico de la fibra molida se procedió a la caracterización de la composición fisicoquímica y al análisis por espectrometría infrarroja con transformadas de Fourier. Los resultados muestran comportamiento granulométrico independiente de la ubicación de la fibra en el raquis y mayor porcentaje de retenido a una abertura de malla de 0,42 mm. La espectrofotometría infrarroja evidencia la presencia de bandas características de la celulosa, hemicelulosa y lignina de similar intensidad en cualquier fracción peduncular del residuo.

Palabras claves: Raquis de palma africana, Materiales compuestos, Granulometría, FTIR.

### Abstract

Fast-growing of African palm oil (*Elaeis guineensis Jacq.*) industry in Ecuador has generated large quantities of empty-fruit-bunch wastes which are currently disposed over the soil of palm plantations. In this context, the objective of the doctoral study is to obtain composite materials based on thermoplastic matrices and lignocellulosic wastes derived from the industrial production of African palm oil in Ecuador. Initially, collection and milling of fiber wastes were carried out. Once the granulometric behavior of the ground fiber was determined, both physicochemical characterization and infrared spectrometry with Fourier transform analysis were accomplished. The results show that granulometric distribution is not correlated to fiber location in empty-fruit-bunch. In addition, greater percentage of retention at 0.42 mm mesh size was observed. Infrared spectrophotometry bands are associated to cellulose, hemicellulose and lignin. Those bands present similar intensity in any peduncle fraction of the waste.

Keywords: Empty-fruit-bunch oil palm, Composites, Grain-size, FTIR.

## Introducción

La dinámica demanda de aceites vegetales ha dado lugar a un incremento importante del sector agroindustrial internacional. Actualmente, el Ecuador ocupa el octavo lugar a nivel mundial en la elaboración de aceite de palma (*Elaeis guineensis Jacq.*) (IndexMundi, 2018). Las estadísticas agrícolas señalan que en Ecuador la palma africana es el segundo cultivo con mayor superficie sembrada después del arroz. En el censo palmero se ha identificado que la producción de palma africana en el año 2017 fue de 3'275.993 toneladas métricas, concentrándose la mayor superficie agrícola en las zonas húmedo-tropicales de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Los Ríos y Sucumbíos. De la superficie total de cultivo, el 60% corresponde a la variedad *INIAP-Tenera*, híbrido entre las variedades *dura* y *pisífera*. De esta forma se genera un aporte al producto interno bruto agrícola del 4,53% (FEDAPAL, 2017).

La progresiva actividad agroindustrial asociada a este sector implica, de forma inherente, la generación de una extensa gama de subproductos y residuos (Quevedo, 2013). En este sentido, se estima que la cantidad total de residuos sólidos generados anualmente bordea las 6'870.000 toneladas métricas (Calderón, Andrade, Lizarzaburu, & Masache, 2017). Particularmente, se ha identificado una elevada tasa de generación de desechos vegetales derivados del procesamiento del racimo fresco. Estos residuos están constituidos por raquis, fibra y cuesco; no obstante, el raquis es el residuo generado en mayor proporción, alcanzando las 825.600 toneladas métricas por año (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015). En la actualidad y en la mayor parte de los casos la disposición final de este residuo es a suelo abierto.

Pese a que los estudios relativos al desarrollo de materiales elaborados con residuos agroindustriales de palma aceitera crecen a nivel mundial, gran parte de ellos han sido realizados únicamente con residuos originarios del sudeste asiático, India y África occidental (Abdullah, Nazir, Raza, Wahjoedi, & Yussof, 2016; Ching et al., 2014; Rozman, Lai, Ismail, & Mohd Ishak, 2000; Rozman et al., 1999; Rozman, Saad, & Ishak, 2002; Shinoj, Visvanathan, Panigrahi, & Kochubabu, 2011; Wirjosentono, Guritno, & Ismail, 2004). Por otra parte, la microestructura y propiedades de las fibras lignocelulósicas dependen en gran medida de la variedad cultivada así como también de factores edafoclimáticos de la plantación y de la zona geográfica (Mohit & Arul Mozhi Selvan, 2018), por lo que las investigaciones llevadas a cabo con residuos procedentes de otras zonas geográficas, no son completamente extrapolables a la realidad latinoamericana.

Tomando en cuenta que en el Ecuador la mayor parte de cultivo corresponde a una especie híbrida y que existen diferencias constitutivas fundamentales entre desechos de distintos orígenes, el objetivo del trabajo doctoral es obtener materiales compuestos a partir de matrices termoplásticas y desechos lignocelulósicos derivados de la producción industrial de aceite de palma africana en Ecuador. Para tal efecto la configuración metodológica comprende, en primer lugar, la caracterización del residuo de raquis así como de matrices de polietileno y polipropileno juntamente con residuos industriales y/o urbanos de estos materiales poliméricos. A partir de las materias primas caracterizadas se elaborarán composites, los cuales serán evaluados en su potencial de aplicación en la industria de la construcción. Dentro de este contexto, el propósito de esta investigación es presentar resultados parciales de la etapa inicial de la investigación, correspondiente a la caracterización de los residuos de raquis.

## Metodología

### Recolección y acondicionamiento de residuos

Los desechos de raquis fueron donados por la empresa Teobroma- Alcopalma ubicada en el kilómetro 34 vía Santo Domingo – Quinindé, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Dichos desechos provienen de la etapa de desfrutamiento de la extracción industrial de aceite de palma.

Las muestras recolectadas se sometieron a separación de impurezas (flores no desarrolladas, frutos normales y partenocárpicas, suciedad y piedras), seguidamente se sometieron a un pre-secado a condiciones ambientales (cielo abierto) por 3 días. A continuación, se clasificó de forma manual la fibra de las dos fracciones pedunculares del raquis y posteriormente se sometió a reducción de tamaño en un molino de cuchillas marca Shini modelo SG-2348E. La fibra molida se secó en estufa a 60°C por 24 horas. Finalmente, se evaluó la distribución del tamaño de la fibra molida en un sistema de tamices normalizados ASTM de mallas 16, 20, 30, 40, 50, 60. La fibra tamizada se almacenó en desecadores a temperatura ambiente ( $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ ).

### Caracterización física y química de las fibras

La composición de las fibras fue evaluada sobre la base de estándares, de acuerdo con el siguiente detalle:

- Contenido de humedad inicial: TAPPI-T-412 m (6)
- Celulosa: TAPPI T-17-m-55,
- Lignina: ASTM D1106-96
- Resinas, ceras y grasas: ASTM- D1107-96.

## Análisis por espectrometría infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR)

La identificación de grupos funcionales de la fibra, proveniente de cada pedúnculo, fue evaluada por medio de FTIR en modo de reflectancia total atenuada. Las muestras fueron ensayadas en el rango de 4000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ , con 16 barridos y resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , por medio de un espectrofotómetro marca Jasco modelo FT/IR-C800.

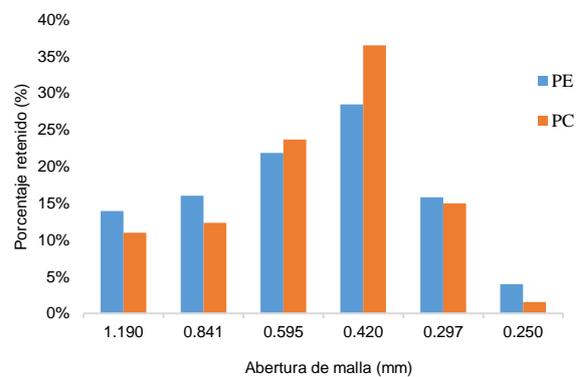
## Resultados

Los residuos recolectados presentaron diferencias en la coloración de sus partes constitutivas. Esta diferencia se debe a que el raquis está compuesto fundamentalmente por un pedúnculo o eje central (PC) así como también por espigas de espiguillas y pedúnculos de espiguillas (PE). La Figura 1(a) muestra las fracciones pedunculares del residuo recolectado.

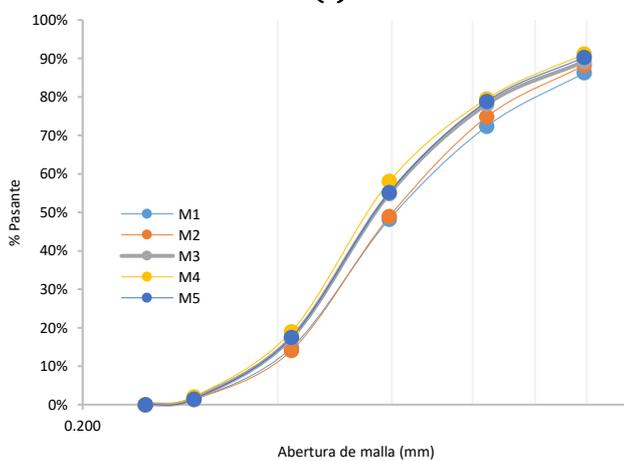
Los resultados de la evaluación granulométrica, presentados en la Figura 1(b), (c) y (d), evidencian una amplia distribución de tamaño de fibra, misma que es similar para los dos pedúnculos. La mayor proporción de retenido se exhibe a una abertura de malla de 0,42 mm (malla #40). Adicionalmente, se observa un valor similar del d80 para los pedúnculos central y de espiguillas, el cual corresponde a una abertura de malla que se encuentra en el rango de 0,841 a 1,00 mm (malla #20 a malla# 18).



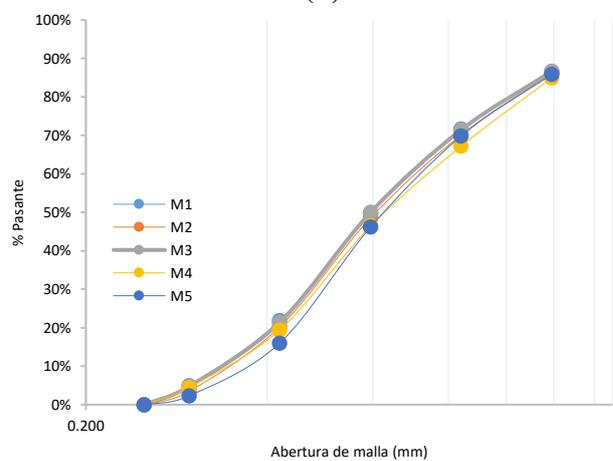
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. (a) Residuos de raquis de palma africana (b) Distribución de tamaño de fibra molida, (c) Granulometría pedúnculo central y (d) Granulometría pedúnculo de espiguillas.

## Caracterización física y química

Los resultados del estudio fisicoquímico de las fibras se presentan en la Tabla 1. Las fibras provenientes de la variedad híbrida *INIAP-Tenera* exhiben valores de contenido de humedad, celulosa y lignina que se encuentran dentro de los rangos citados en estudios similares (Anyoaha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, 2018; Chang, 2014); sin embargo, los resultados de celulosa y lignina son marcadamente inferiores a los reportados por Ghalia *et al* (Abu Ghalia & Abdelrasoul, 2019). Por otra parte, la información referida a la caracterización química demuestra que la composición no difiere significativamente con la ubicación de la fibra en el residuo.

Tabla 1. Caracterización física y química de fibra de palma africana variedad *INIAP-Tenera*

Ubicación de la fibra en el residuo	Contenido de humedad (%)	Contenido en base seca (%)		
		Celulosa	Lignina	Resinas, ceras y grasas
Pedúnculo central	6,93 ± 0,13	45,81 ± 1,08	23,63 ± 1,54	2,70 ± 0,12
Pedúnculo de espiguillas	7,13 ± 0,10	46,14 ± 1,05	26,31 ± 2,81	2,91 ± 0,24

### Espectrofotometría FTIR

Los resultados presentados en la Figura 2 evidencian la presencia de varios grupos funcionales característicos de fibras naturales lignocelulósicas. De forma general, no se observan diferencias sustanciales entre los espectros de fibras de los pedúnculos central y aquellos de las fibras de pedúnculos de espiguillas. A 3328  $\text{cm}^{-1}$  se observa una banda ancha de elevada intensidad correspondiente al estiramiento de grupo OH (Abdullah et al., 2016; Chaiwong, Samoh, Eksomtramage, & Kaewtatip, 2019; Khalili, Tshai, & Kong, 2018; Zakaria, Hamzah, Murshidi, & Deraman, 2001), la cual para el caso de fibras lignocelulósicas está asociada principalmente a la presencia de alcoholes y fenoles (Kakou et al., 2014). Las bandas a 2921 y 2854  $\text{cm}^{-1}$  se asocian a la vibración del grupo C–H y del estiramiento simétrico del C–H<sub>2</sub>, respectivamente (Chaiwong et al., 2019; Limited, 2012). Los grupos carbonilos presentes en la hemicelulosa y ceras se confirman por medio de la banda a la longitud de onda de 1735  $\text{cm}^{-1}$ . La banda de transmitancia a 1158  $\text{cm}^{-1}$  se relaciona con la vibración de estiramiento del grupo C–O–C del anillo piranoso en polisacáridos. Adicionalmente, la existencia de enlaces glucosídicos se corrobora por medio de la banda a 898  $\text{cm}^{-1}$  (Khalili et al., 2018).

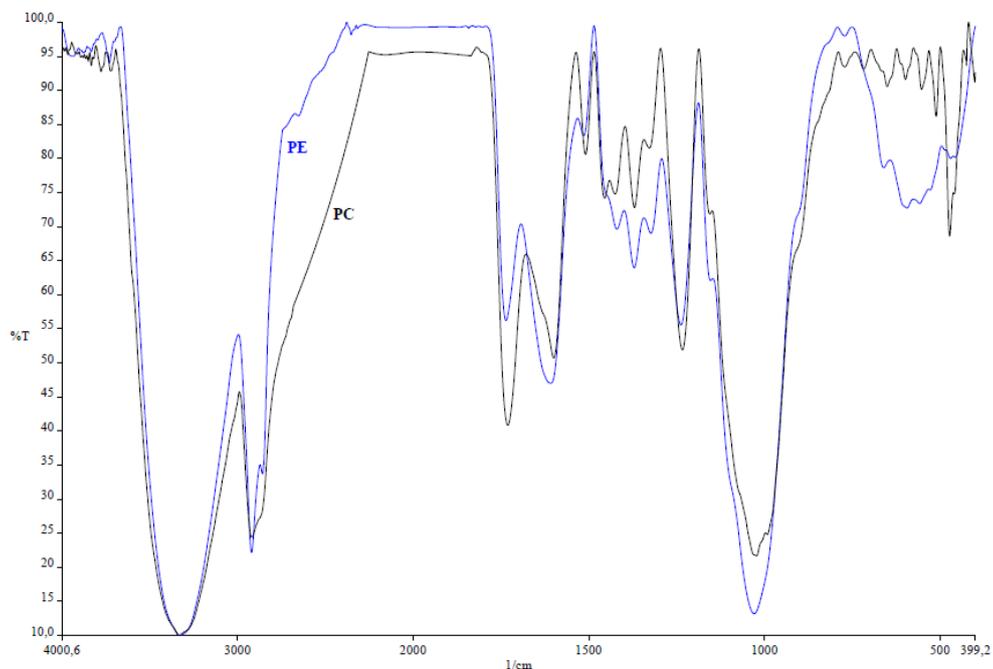


Figura 2. Espectro infrarrojo de fibras procedentes del raquis de palma africana

Desde la perspectiva de los componentes químicos de las fibras, las bandas asociadas a los anillos aromáticos de la lignina se observan a 1455 y 1511  $\text{cm}^{-1}$ . Por otra parte, las bandas a 1029, 1234, 1319, 1371, 1421, 1735, 2921 y 3328  $\text{cm}^{-1}$  identifican la presencia de hemicelulosa. En tanto que, las bandas de absorción a 898, 1029 y 1158  $\text{cm}^{-1}$  confirman la existencia de celulosa en las muestras ensayadas (Abdullah et al., 2016; Palamae, Dechatiwongse, Choorit, Chisti, & Prasertsan, 2017).

### Conclusiones

El proceso de molienda de los residuos de raquis de palma africana genera fibras con elevada distribución de tamaño y de comportamiento granulométrico independiente de la ubicación de la fibra en el raquis. El mayor porcentaje de retenido de fibra se obtiene con abertura de malla de 0,42 mm, en tanto que el d80 corresponde a una abertura de malla entre 0,841 y 1,00 mm.

Los resultados de caracterización permiten establecer que no existen diferencias significativas en la estructura fisicoquímica de las fibras del pedúnculo central en comparación con aquellas ubicadas en el pedúnculo de espiguillas. De igual forma, la espectrofotometría FTIR evidencia la presencia de bandas características de la celulosa, hemicelulosa y lignina de similar intensidad en cualquier fracción peduncular del residuo.

## Referencias

- Abdullah, M. A., Nazir, M. S., Raza, M. R., Wahjoedi, B. A., & Yussof, A. W. (2016). Autoclave and ultra-sonication treatments of oil palm empty fruit bunch fibers for cellulose extraction and its polypropylene composite properties. *Journal of Cleaner Production*, *126*, 686–697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.107>
- Abu Ghalia, M., & Abdelrasoul, A. (2019). *Compressive and fracture toughness of natural and synthetic fiber-reinforced polymer. Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00007-2>
- Anyaocha, K. E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. M. (2018). Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, *136*(April), 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.022>
- Calderón, M., Andrade, F., Lizarzaburu, L., & Masache, M. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador. *Estudios Del Cambio Climático En América Latina*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32632.96005>
- Chaiwong, W., Samoh, N., Eksomtramage, T., & Kaewtatip, K. (2019). Surface-treated oil palm empty fruit bunch fiber improved tensile strength and water resistance of wheat gluten-based bioplastic. *Composites Part B*, *176*(July), 107331. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107331>
- Chang, S. H. (2014). An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass and Bioenergy*, *62*, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.002>
- Ching, K. S., Ealid, M., Ching, Y. C., Haniff, M., Khalid, M., & Beg, M. T. H. (2014). Preparation and characterisation of polyvinyl alcohol/oil palm empty fruit bunch fibre composite. *Materials Research Innovations*, *18*(sup6), S6-364-S6-367. <https://doi.org/10.1109/ICOSP.2014.7015295>
- FEDAPAL. (2017). Ficha importancia palma 17.
- IndexMundi. (2018). Palm Oil Production. Retrieved October 29, 2018, from <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&graph=production>
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2015). *Congreso Internacional Investigación, desarrollo e innovación en Sostenibilidad Energética*.
- Kakou, C. A., Arrakhiz, F. Z., Trokourey, A., Bouhfid, R., Qaiss, A., & Rodrigue, D. (2014). Influence of coupling agent content on the properties of high density polyethylene composites reinforced with oil palm fibers. *Materials and Design*, *63*, 641–649. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.06.044>
- Khalili, P., Tshai, K. Y., & Kong, I. (2018). Comparative Thermal and Physical Investigation of Chemically Treated and Untreated Oil Palm EFB Fiber. *Materials Today: Proceedings*, *5*(1), 3185–3192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.127>
- Limited, W. P. (2012). *Handbook of natural fibres Volume 1: Types, properties and factors affecting breeding and cultivation*. (R. Kozłowski, Ed.). Philadelphia: Woodhead Publishing Limited.
- Mohit, H., & Arul Mozhi Selvan, V. (2018). A comprehensive review on surface modification, structure interface and bonding mechanism of plant cellulose fiber reinforced polymer based composites. *Composite Interfaces*, *25*(5–7), 629–667. <https://doi.org/10.1080/09276440.2018.1444832>
- Palamae, S., Dechatiwongse, P., Choorit, W., Chisti, Y., & Prasertsan, P. (2017). *Cellulose and hemicellulose recovery from oil palm empty fruit bunch (EFB) fibers and production of sugars from the fibers. Carbohydrate Polymers* (Vol. 155). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.004>
- Quevedo, T. (2013). *Agroindustria y Concentración de la Propiedad de la Tierra*. Quito.
- Rozman, H. D., Lai, C. Y., Ismail, H., & Mohd Ishak, Z. A. (2000). Effect of coupling agents on the mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch-polypropylene composites. *Polymer International*, *49*(11), 1273–1278. [https://doi.org/10.1002/1097-0126\(200011\)49:11<1273::AID-PI469>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1097-0126(200011)49:11<1273::AID-PI469>3.0.CO;2-U)
- Rozman, H. D., Lim, P. P., Abusamah, A., Kumar, R. N., Ismail, H., & Ishak, Z. A. M. (1999). The Physical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Composites Made from Various Thermoplastics. *International Journal of Polymeric Materials*, *44*(1–2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/00914039908012144>
- Rozman, H. D., Saad, M. J., & Ishak, Z. A. M. (2002). Modification of Oil Palm Empty Fruit Bunches with Maleic Anhydride: The Effect on the Tensile and Dimensional Stability Properties of Empty Fruit Bunch/Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, *87*(M), 827–835. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(02\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(02)00109-5)
- Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S., & Kochubabu, M. (2011). Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Industrial Crops and Products*, *33*(1), 7–22. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.009>
- Wirjosentono, B., Guritno, P., & Ismail, H. (2004). Oil palm empty fruit bunch filled polypropylene composites. *International Journal of*

*Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 53(4), 295–306. <https://doi.org/10.1080/00914030490429942>

Zakaria, S., Hamzah, H., Murshidi, J. A., & Deraman, M. (2001). Chemical modification on lignocellulosic polymeric oil palm empty fruit bunch for advanced material. *Advances in Polymer Technology*, 20(4), 289–295. <https://doi.org/10.1002/adv.10003>