



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“COMPÓSITOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES”

Trabajo de investigación para optar el Grado de Bachiller en:  
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Jose Junior Huanaco Pariona (0000-0001-8947-0858)

Asesor:

Alfredo Néstor Salinas Castro: (0000-0001-5212-6113)

Lima – Perú

2020



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°232-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **COMPÓSITOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES**, presentado por:

- **Jose Junior Huanaco Pariona**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de **Bachiller de Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de Investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al **Director Académico de Carrera**.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de Investigación titulado: **COMPÓSITOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES** con N° de registro de la carrera: **071-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Alfredo Néstor Salinas Castro** como asesor de dicho trabajo de Investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

COMPÓSITOS REFORZADOS CON FIBRAS NATUARALES

Jose Junior Huanaco Pariona<sup>1\*</sup>; Alfredo Néstor Salinas Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur

\*Correo de correspondencia: 180000447@cientifica.edu.pe

## RESUMEN

Los impactos negativos al ambiente causados por los plásticos debido a sus características no biodegradables y a causa de su mala gestión han generado que se busquen nuevos materiales como alternativa a los plásticos. Los biopolímeros como el almidón y PLA, ácido poliláctico, han sido los materiales más estudiados; sin embargo, debido a sus limitaciones en sus reducidas propiedades mecánicas han hecho que se le añadan agentes reforzantes como es el caso de las fibras vegetales debido a sus buenas propiedades mecánicas, disponibilidad, precio, entre otras ventajas.

Estas fibras pueden ser reaprovechados de los residuos agroindustriales y/o cultivos lo cual genera un gran impacto positivo. Las fibras más usadas son el cáñamo, yute, sisal, bagazo de caña, piña y otros en menor proporción. El uso de estos compuestos orgánicos como agentes de refuerzo hace que sean posible elaborar mediante técnicas como la termocompresión materiales, biocompósito, que presenten mejoras en las propiedades mecánicas, densidad, biodegradabilidad, precio, entre otros beneficios. La presente revisión teórica tiene por finalidad verificar las características de los biocompósitos, para ello se hizo una revisión en primera instancia sobre las propiedades de las fibras vegetales, así como algunas investigaciones relacionadas con la elaboración de biocompósitos.

Palabras claves: fibra vegetal, residuos, propiedades mecánicas, termocompresión, biocompósito, variables y factores.

**ABSTRACT**

The negative impacts to the environment caused by plastics due to their non-biodegradable characteristics as well as their bad management have generated that new materials are sought as an alternative to plastics. Biopolymers such as starch and PLA, polylactic acid, have been the most studied materials; However, due to its limitations such as its reduced mechanical properties, reinforcing agents such as vegetable fibers have been added due to its good mechanical properties, availability, price, among other advantages.

These fibers can be reused from agro-industrial waste and / or crops, which generates a great positive impact, the most used fibers are hemp, jute, sisal, bagasse, pineapple and others in a smaller proportion. The use of these organic compounds as reinforcing agents makes it possible to elaborate through techniques such as thermocompression materials, biocomposite, which present improvements in mechanical properties, density, biodegradability, price, among other benefits. The purpose of this theoretical review is to verify the characteristics of biocomposites, for this purpose a review was made in the first instance on the properties of plant fibers, as well as some research related to the development of biocomposites.

Keywords: vegetable fiber, waste, mechanical properties, thermocompression, biocomposite, variables and factors.

## I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales que han traído muchos beneficios para la sociedad; sin embargo, debido a su característica no biodegradable causan un impacto negativo al ambiente cuando estos no son gestionados de manera adecuada. Es por ello que se vienen investigando nuevos materiales que pueden reemplazar a los plásticos, es ahí donde aparecen los biopolímeros como almidón y el ácido poliláctico (PLA) (Navia & Bejarano Arana, 2014).

La elaboración de bioplásticos mediante el uso de estos compuestos orgánicos y agentes plastificantes como el agua o glicerol, presentan grandes beneficios ambientales como su biodegradabilidad; sin embargo, también presentan inconvenientes como la solubilidad en el agua, propiedades mecánicas débiles, rápido envejecimiento a consecuencia de su elevada retrogradación, entre otros (Luna, Villado, & Velasco, 2009). Con la finalidad de mejorar dichas propiedades se han utilizado agentes reforzantes sintéticos tal es el caso de la fibra de vidrio, carbón, entre otros pero al ser estos materiales no biodegradables el impacto generado sigue siendo similar (Yang, Ching, & Chuah, 2019). Es ahí donde aparecen las fibras naturales como agente de refuerzo, compuestos orgánicos que presentan propiedades mecánicas inferiores a las fibras sintéticas pero tienen la particularidad de ser materiales de bajo precio, son abundantes pero sobre todo son biodegradables (Ku, Wang, Pattarachaiyakoop, & Trada, 2011).

Se han realizado una serie de investigaciones relacionadas a este tema, en las cuales se han estudiado la influencia de la fibras sobre las propiedades mecánicas de los biocompósitos.

## II. REVISIÓN TEÓRICA

### 1. Fibras naturales

Las fibras naturales son compuestos filamentosos y de estructura compleja (Simbaña & Mera, 2010). Estos pueden clasificarse según sea su origen, es así que se pueden encontrar tres tipos: vegetal, animal y mineral (Maya & Sabu, 2008; Alves *et al.*, 2010; A. Restrepo, Rodríguez, & Manjarrés, 2011). Las fibras vegetales son aquellas que están constituidos principalmente por celulosa y las fibras de origen animal por proteínas (Nair & Joseph, 2014). En el caso de las fibras minerales, Simbaña & Mera (2010) mencionan que estos materiales presentan una estructura que constan de filamentos largos y flexibles. Actualmente, las fibras vegetales tienen una mayor aceptación frente a los demás tipos debido a que presentan un corto tiempo de crecimiento, son muy abundantes, resistentes y pueden ser extraídas de casi cualquier parte de la planta (Peças, Carvalho, Salman, & Leite, 2018). Debido a ello es que ahora en adelante solo se hará referencia a este tipo de fibras.

Las fibras vegetales o también denominadas lignocelulósicas debido a su composición (Pereira *et al.*, 2015), son aquellos compuestos orgánicos complejos constituidos principalmente por biopolímeros de celulosa, lignina, hemicelulosa así como pectina (Deaquiz & Moreno, 2016; Pereira *et al.*, 2015). La proporción de la composición de las fibras depende mucho del tipo planta, los años de cultivo y las condiciones de extracción (Pereira *et al.*, 2015). En la siguiente tabla (ver tabla 1) se aprecia los porcentajes de la composición química de algunas fibras vegetales.

Tabla 1

Composición química de las fibras vegetales

Tipo de fibra	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Jute	60	22.1	15.9
Ramina	80-85	3-4	0.5
Kenaf	72	20.3	9
Lino	71	18.6-20.6	2.2
Cáñamo	72	10	3
Sisal	70-75	10.3-13.9	7.6-7.9
Fibra de piña	83	-	12
Paja de arroz	43.2	31.7	16.9
Bagazo	69.4	21	4.4

 Fuente: Pereira *et al.* (2015)

Las fibras vegetales pueden clasificarse en primarias y secundarias, según sea su uso; por ejemplo, las primarias son aquellas en las cuales las fibras se obtienen de cultivos específicos para su aprovechamiento directo a diferencia de la secundaria en las cuales el aprovechamiento de la fibra es a partir de residuos de cosechas o subproductos (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012; Muniyasamy, Anstey, Reddy, Misra, & Mohanty, 2013). Otra forma de clasificar a la fibra es según su disposición en la planta, es así que se pueden tener 6 tipos: centrales (yute, cáñamo, entre otras), semillas (algodón, coco así como kapok), de caña (arroz, maíz, trigo, etc.), las fibras foliares( piña, sisal y abacá), de madera y por último de liber( lino, kenaf, yute, cáñamo, entre otros) (Faruk et al., 2012).

La producción de fibras vegetales a nivel mundial se estima en 3 100 millones toneladas, de la cuales cerca del 56% de esta son fibras de algodón además es este tipo de fibra la que presenta un mayor valor económico, seguido del lino y la abaca (Domke & Mude, 2015).

### 1.1 Manejo de residuos de fibras vegetales



Los volúmenes de residuos o subproductos generados a consecuencia de proceso productivos ya sea a nivel agroindustrial o no cada vez son mayores, esto ocasiona una serie de problemas económicos así como también ambientales a la hora de su disposición final (A. Restrepo et al., 20; Vargas & Pérez, 2018). Por ejemplo, la generación de residuos producto de la cosecha de la piña, rastrojos, se estima en cerca de 300 toneladas por hectárea producida (Yarid et al., 2013). Estos rastrojos debido a su tiempo de degradación y volumen son principalmente incinerados debido a que es el método más rápido y económico para los productores de deshacerse de estos; sin embargo, esto ocasiona un impacto negativo al ambiente (Huallpa & Alcántara, 2019), otra forma de deshacerse de dichos restos es mediante la aplicación de herbicidas (Yarid et al., 2013). Estas acciones no solo generan impactos al ambiente sino además pérdidas económicas, por ello es importante darle un valor agregado a las fibras.

Según Vargas & Pérez (2018) existen tres métodos de valorización de las fibras vegetales, la primera está relacionado con la obtención de enzimas, gases, pectinas, fibras dietética entre otros; el segundo método está orientado a la elaboración de biocombustibles y la tercera con la obtención de energía a través de procesos térmicos. Hay otras formas de darle un valor agregado a los residuos, tal es el caso del uso de estos materiales como agentes de refuerzos a la hora de elaborar productos ecológicos, debido a su alto contenido en lignocelulosa (Vargas & Pérez, 2018).

## **1.2 Ventajas**

Las fibras vegetales presentan grandes ventajas a causa de sus buenas propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, módulo elástico así como bajo costo y biodegradabilidad (Ku et al., 2011; Simbaña & Mera, 2010), es debido a estas

propiedades que las fibras vegetales han tomado relevancia y están siendo usados como alternativa de refuerzo a la hora de producir materiales compuestos (S. Restrepo, Arroyave, & Vásquez, 2016; Mora, Esquivel, Durán, & Zamora, 2015; Mora et al., 2015). En la siguiente tabla (ver tabla 2) se puede observar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de algunas fibras vegetales y sintéticas.

Tabla 2

*Propiedades mecánicas y físicas de las fibras*

Fibra	Densidad(g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza de tensión (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Ramina	1.51	400-938	61.4-128
PALF	1.44	413-1627	34.5-82.5
Lino	1.5-3	450-1100	27.6
Jute	1.3-1.45	393-773	13-26.5
Cáñamo	-	690	-
Sisal	1.45	468-640	9.4-22
Fibra de coco	1.15	131-175	4-6
Algodón	1.5-1.6	287-800	5.5-12.6
Fibra de vidrio	2.5	2000-3500	70
Aramida	1.4	3000-3150	63-67
Carbón	1.7	4000	230-270

Fuente: Kalia, Kaith, & Kaur (2011)

A partir de la tabla se puede verificar que las fibras vegetales presentan una menor densidad que algunos agente de refuerzos sintéticos, esto es muy favorable a la hora de elaborar materiales más livianos, pero a la hora de comparar las propiedades mecánicas los agentes de refuerzo sintéticos presentan valores muy superiores y en algunos casos similares.

Otra de la ventajas de las fibras vegetales es que son materiales no abrasivos, presentan baja densidad y requieren de poca de energía para su procesamiento (Alves et al., 2010). Además, son materiales muy abundantes, presentan buenas propiedades acústicas y son buenos aislantes térmicos (Peijs, 2002). Sí bien es cierto este tipo de materiales presentan un gran cantidad de ventajas también cuentan con limitaciones debido a su

naturaleza hidrofílica, tienen afinidad con el agua, lo cual trae consigo efectos como la inestabilidad estructural en la matriz cuando se elaboran biocompósitos así como también la propagación de hongos a causa de la humedad (Väisänen, Das, & Tomppo, 2017).

## **2. Biocompósito**

Un biocompósito es aquel material polimérico que presenta características biodegradables debido a que uno o sus componentes son de origen biológico, ya sea matriz o agente reforzante (Lau, Ho, Au-Yeung, & Cheung, 2010; Nair & Joseph, 2014).

Según Fowler, Hughes, & Elias (2006) un biocompósito es aquel material compuesto que está constituido por una o más fases de naturaleza biológica. Por su parte Barrios, García, Rivera, Manríquez-gonzález, & Lomelí (2015) menciona que el añadir materiales lignocelulósicos en una matriz termoplástica forma los biocompósitos, además mencionan que generalmente la proporción de esta oscila entre los 5 y 30%.

Estos materiales en la actualidad han ido tomado relevancia cada vez más debido a su variada aplicabilidad como empaques de alimentos, bolsas, en la industria automotriz, médica, entre otras, además de ser materiales que generan un mejor impacto ambiental a comparación de los polímeros convencionales (Arrieta & Jaramillo, 2014).

La producción comercial de estos materiales en la última década ha ido creciendo de manera muy rápida, con un crecimiento anual de aproximadamente 18%, esto se debe a la buena aceptación de estos materiales (Ponce & Guerrero, 2014).

Se han elaborado una serie de biocompósitos utilizando como matriz polimérica materiales de origen sintético como por ejemplo el polipropileno, tal es el caso de Elizetxea, Gurmendi, & Pijoan (2010) quienes elaboraron biocompósitos a base de este

material reforzando con compuestos naturales como la harina de maíz y pino, obteniendo buenos resultados para la obtención de materiales genéricos de partes automovilísticas. Asimismo Mora et al. (2015) elaboraron un biocompósito a base de polipropileno y partículas <1mm de fibra del raquis del plátano a diferentes proporciones ( 2; 5; 10; 20 y 30) %, las cuales fueron mezcladas y mediante un extrusor se formaron pellets y después de ello mediante la técnica de termocompresión a 180-200°C y variando la presión entre 1000-3000 psi se formaron placas, obteniendo como resultado que el incremento de la proporción de fibra en un 20% aumentó hasta en un 110% el módulo de tensión con respecto a la matriz; sin embargo a proporciones mayores (30%) decrece esta propiedad.

Así como se han usado matrices sintéticas, también se usan matrices biodegradables. Tal es así que el compuesto biológico más usado es el almidón (Delgado et al., 2013). Por su parte Navia & Bejarano Arana (2014) mencionan que son el almidón y el PLA, estos materiales han tomado mucha relevancia debido a su abundancia y su fácil procesabilidad de plastificación a través de las diferentes técnicas. Algunos estudios realizados en base a estos materiales es el de Ponce & Guerrero (2014) quienes elaboraron un biocompósito aplicando la técnica de termocompresión, este biocompósito hecho a base de PLA reforzado con fibra de abacá de 10mm a diferentes concentración (10; 13; 15 y 20) %, obteniendo como resultado un incremento máximo de 165% de resistencia a la tracción con respecto al control (PLA) y un incremento entre 50-100% de resistencia a la flexión.

Asimismo, Vallejos et al. (2011) elaboraron un biocompósito a base de almidón, glicerina (30%) y bagazo a diferentes proporciones (5; 10 y 15)%, estas fueron mezcladas y termocomprimadas a 155°C y 10 t, obteniendo como resultado en la proporción de 15%

incremento hasta 4 veces más el esfuerzo de tracción con respecto al control y que a partir de la proporción de 10% la tensión de tracción empieza a disminuir, esto se debe a una mala dispersión del agente reforzante. Por su parte Barrios, García, Rivera, Manríquez-gonzález, & Lomelí (2015) elaboraron un biocompósito a base de almidón de maíz reforzados con partículas de 425; 600um y 1.4mm de madera de fresno en proporciones (5; 10 y 20)% y glicerina (30%), estas fueron mezcladas y termo comprimidas a 150 °C y 18 bar por 50min, luego fueron sometidos a tratamientos húmedos y térmicos, obteniendo como resultado que el biocompósito con 20% y 400um presento mejores propiedades mecánicas y que el tratamiento térmico mejoró dichas propiedades, además de que el incremento de la proporción de fibra influye de manera positiva en la disminución de la absorción de humedad.

Otros estudios relacionados fueron realizados por Zelazinski, Ekielski, Tulska, Vladut, & Durczak, (2019), quienes elaboraron un biocompósito a base de almidón de papa y fibra de madera de pino de 250um a diferentes proporciones (20; 25; 30 y 35)%, las cuales fueron mezcladas y secados durante 24h a 50°C, obteniendo como resultado que el aumento de la proporción de la fibra incrementó las propiedades mecánicas hasta en un 189% (proporción 25%); sin embargo, la adición de proporciones mayores ocasionaron una disminución en la resistencia tal como lo mencionan Vallejos et al., (2011). Del mismo modo Navia & Bejarano Arana, (2014), elaboraron un biocompósito a base de harina de yuca reforzado con partículas < 250um de fibra de fique y glicerol, las cuales fueron mezcladas y termo comprimidas en 5min a diferentes presiones (0; 20 y 40) psi y temperatura (180; 190 y 200) °C, y obtuvo como resultado que la mezcla termo comprimida a 190°C y 0 psi presentaba mejores propiedades mecánicas; sin embargo, el incremento de la temperatura a 200°C y presión a 40psi afectó

negativamente, según Navia, Villada, & Ayala, (2013) esto se puede deber a que el incremento de dichos factores ocasionen que se generen aglomerados entre la matriz y el fibra, evitando de esta forma una plastificación homogénea .

### **2.1. Características**

Los biocompuestos presentan buenas características mecánicas pero mucho depende de la interacción entre la matriz polimérica y el agente reforzante (De Lemos et al., 2017). Es por ello que con la finalidad de mejorar estas limitantes se han realizado tratamientos en la fibra tanto físicos como químicos, también influye la proporción del agente reforzante, así como la orientación y el tamaño de las fibras (Ramamoorthy, Åkesson, Rajan, Periyasamy, & Skrifvars, 2019).

Según Barrios et al. (2015), la disminución de las propiedades mecánicas se debe al carácter hidrofílico de la matriz termoplástica, la cual influye negativamente debido al aumento de la humedad y esta a su vez en la interfaz de los componentes. El aumento de la proporción del agente reforzante disminuye el carácter hidrofílico del biocompuesto e incrementa las propiedades mecánicas (Vallejos et al., 2011; Barrios et al., 2015; Zelazinki et al., 2019). Sin embargo, el incremento considerable de la proporción de fibra puede causar efectos negativos debido a la disminución de la propiedad mecánica, resistencia, a causa de la aglutinamiento de estas (Vallejos et al., 2011; Saetun, Chiachun, Riyajan, & Kaewtatip, 20; Zelazinki et al., 201; Mora et al., 2015).

Otra de las características relevantes de los biocompuestos es su biodegradabilidad, estos compuestos al provenir del uso materiales biológicos son considerados altamente biodegradables (Fowler et al., 2006). También los biocompuestos son materiales muy

livianos y de bajo costo (Ahmad, Choi, & Park, 2015; S. Restrepo et al., 2016; Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2013), tal es así que Mora et al. (2015) menciona que el aumento de la concentración de fibra disminuye la densidad, esta característica se puede deber a la porosidad de las fibras. Por su parte Navia & Bejarano Arana, (2014) hace referencia que la disminución de la presión en la termocompresión disminuye la densidad, esto se debe a que no se limiten la formación de poros caso contrario sucede cuando hay un incremento de presión y temperatura.

## **2.2. Técnica (Termocompresión)**

Existen varias técnicas para la elaboración de biocompósito entre las cuales se encuentra el moldeo por termocompresión, extrusión e inyección (Faruk et al., 2013); sin embargo, casi todos los artículos revisados están basados en la técnica de la termocompresión, es debido a ello que se explicará sobre este. La termocompresión es un técnica muy utilizado para obtener materiales con propiedades mecánicas resistentes debido a que permite una mejor distribución de los fibras en la matriz, así como también una menor generación de desperdicios, esta se basa en la aplicación de una fuerza y temperatura para la conformación de placas. (Navia & Bejarano Arana, 2014).

Un factor importante el cual influye en las propiedades mecánicas de los biocompósitos, son las técnicas y los parámetros a la hora de elaborar este tipo de materiales (Ku et al., 2011). La temperatura y la presión influyen significativamente en el incremento de las propiedades mecánicas pero un incremento considerable de estos puede ocasionar cambios a nivel estructural de la matriz, lo cual genera una reducción de sus propiedades mecánicas (Navia & Bejarano Arana, 2014).

### **III. CONCLUSIÓN**

En conclusión, la elaboración de materiales reforzados con fibras naturales, biocompósitos, presentan grandes beneficios a comparación de los plásticos comunes y biocompósitos reforzados con fibras sintéticas tal es el caso de biodegradabilidad, densidad y el costo, la cual si bien en cierto aún no es comparable con los plásticos convencionales pueden ser factibles sí se realizan a mayor escala.

Además, la incorporación de fibras vegetales como agente de refuerzo a la matriz mejora las propiedades mecánicas hasta en más de un 100% con respecto a la matriz termoplástica, pero dichas propiedades varían según los estudios revisados en relación con el tamaño, proporción, el tipo de fibra y las condiciones de la termocompresión a la cual se elaboraron, relación presión y temperatura.



#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, F., Choi, H. S., & Park, M. K. (2015). A review: Natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, 300(1), 10-24.  
<https://doi.org/10.1002/mame.201400089>
- Alves, C., Ferrão, P. M. C., Silva, A. J., Reis, L. G., Freitas, M., Rodrigues, L. B., & Alves, D. E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 313-327.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.022>
- Arrieta, Á., & Jaramillo, A. (2014). Mamposteria Con Ceniza De Cascarilla De Arroz Como Agregado Fino. *Revista Colombiana de Materiales*, 0(5), 42-49. Recuperado de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/view/19085>
- Barrios, A., García, S., Rivera, J. de J., Manríquez-gonzález, R., & Lomelí, M. (2015). Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno Biodegradable composites made from thermoplastic starch and ash wood particles. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 26-41. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.258>
- De Lemos, A., Prestes, P., Lopes, M., Votaro, V., Faulstich, J., & Domingues, N. (2017). Biocomposites reinforced with natural fibers:thermal, morphological and mechanical characterization. *Matéria*, 22(2). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0173>

- Deaquiz, Y., & Moreno, B. (2016). Producción y biosíntesis de fibras vegetales. *Conexión agropecuaria*, 6(1), 29-42. Recuperado de file:///C:/Users/user/Downloads/53-Texto del artículo-194-1-10-20180724.pdf
- Delgado, M., Espinach, F., Julián, F., Pelach, M., Méndez, J., Vilaseca, F., & Mutjé, P. (2013). Desarrollo de materiales compuestos para aeronáutica. *Nippon*.  
<https://doi.org/10.13140/2.1.2313.1520>
- Domke, P. V., & Mude, V. D. (2015). Natural fiber reinforced building materials. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(3), 2320-2334.  
<https://doi.org/10.9790/1684-1232104107>
- Elizetxea, C., Gurmendi, U., & Pijoan, T. (2010). Composites con refuerzos naturales para aplicaciones en automoción y construcción. *Revista de Metalurgia*, 46(EXTRA), 138-142. <https://doi.org/10.3989/revmetalmadrid.17XIIPMS>
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596.  
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2013). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 299(1), 9-26.  
<https://doi.org/10.1002/mame.201300008>
- Fowler, P., Hughes, M., & Elias, R. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2527-2533. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- Huallpa, E., & Alcántara, A. (2019). Utilización de las hojas de piña para elaborar telares.

*Rev. del Instituto de Investigación FIGMMg-UNMSM*, 22(43), 127-132. Recuperado de [file:///C:/Users/user/Downloads/16698-Texto del artículo-58256-2-10-20190916.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/16698-Texto%20del%20artículo-58256-2-10-20190916.pdf)

Kalia, S., Kaith, B., & Kaur, I. (2011). Viscoelasticity of Combined Thermally Insensitive Terpolyacrylamides. *Polymer Engineering & Science*, 49(7). <https://doi.org/10.1002/pen>

Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(4), 856-873. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.010>

Lau, K. T., Ho, M. P., Au-Yeung, C. T., & Cheung, H. Y. (2010). Biocomposites: Their multifunctionality. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 1(1), 13-27. <https://doi.org/10.1080/19475411003589780>

Luna, G., Villado, H., & Velasco, R. (2009). Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. *REVISTA DYNA*, 76, 145-151. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/13050>

Maya, J., & Sabu, T. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343-364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>

Mora, J. C., Esquivel, M., Durán, M., & Zamora, R. (2015). Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano(Musa AAA). *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen Iber. Polímeros*, 16(2), 91-111.

Muniasamy, S., Anstey, A., Reddy, M. M., Misra, M., & Mohanty, A. (2013). Biodegradability and compostability of lignocellulosic based composite materials.

*Journal of Renewable Materials*, 1(4), 253-272.

<https://doi.org/10.7569/JRM.2013.634117>

Nair, A. B., & Joseph, R. (2014). Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements. *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*, 249-283.  
<https://doi.org/10.1533/9780857096913.2.249>

Navia, D., & Bejarano Arana, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(2), 40-48. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf>

Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., & Leite, M. (2018). Natural fibre composites and their applications: A Review. *Journal of Composites Science*, 2(4), 66.  
<https://doi.org/10.3390/jcs2040066>

Peijs, T. (2002). Composites turn green! *e-Polymers*, 1-12. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Composites+turn+green!#0>

Pereira, P. H. F., De Freitas Rosa, M., Cioffi, M. O. H., De Carvalho Benini, K. C. C., Milanese, A. C., Voorwald, H. J. C., & Mulinari, D. R. (2015). Vegetal fibers in polymeric composites: A review. *Polimeros*, 25(1), 9-22.  
<https://doi.org/10.1590/0104-1428.1722>

Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá. *Revista Epn*,

33(2).

- Ramamoorthy, S. K., Åkesson, D., Rajan, R., Periyasamy, A. P., & Skrifvars, M. (2019). Mechanical performance of biofibers and their corresponding composites. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 259-292. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102292-4.00014-x>
- Restrepo, A., Rodríguez, E., & Manjarrés, K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción + Limpia*, 6(2), 47-57. <https://doi.org/10.1134/S1560354712020013>
- Restrepo, S., Arroyave, G., & Vásquez, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos Use of vegetable fibers in polymer matrix composites : a review. *Informador Técnico*, 80(1), 77-86.
- Saetun, V., Chiachun, C., Riyajan, S., & Kaewtatip, K. (2017). Green composites base on termoplastic starch and rubber wood sawdust. *Polymer Composites*, 37(1), 915-924. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Simbaña, A., & Mera, M. (2010). Fibras naturales y residuos agroindustriales. Fuente sostenible de materia prima. *Revista Científica Axioma*, 1(6), 15-16. Recuperado de <http://pucesinews.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/308/299>
- Väisänen, T., Das, O., & Tomppo, L. (2017). A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 149, 582-596.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.132>

Vallejos, M. E., Curvelo, A. A. S., Teixeira, E. M., Mendes, F. M., Carvalho, A. J. F., Felissia, F. E., & Area, M. C. (2011). Composite materials of thermoplastic starch and fibers from the ethanol-water fractionation of bagasse. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 739-746. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.01.014>

Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Yang, J., Ching, Y. C., & Chuah, C. H. (2019). *Applications of Lignocellulosic Fibers and Lignin in Bioplastics: A Review*. 1-26. <https://doi.org/10.3390/polym11050751>

Yarid, D., Gutiérrez, M., Victoria, M., Guerra, T., Eugenia, M., & Pinzón, T. (2013). Propiedades física, química y mecánicas de la piña Golden y Mayanés utilizada para la indumentaria en Bogotá. *Teoría y Praxis Investigativa*, 8(2), 32-43. Recuperado de [file:///C:/Users/user/Downloads/390-Texto del artículo-403-1-10-20150713.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/390-Texto%20del%20articulo-403-1-10-20150713.pdf)

Zelazinski, T., Ekielski, A., Tulska, E., Vladut, V., & Durczak, K. (2019). *Wood dust application for improvement of select properties of thermoplastic starch*. 58(2), 37-44. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-58-04>