

Prototipo de material compuesto de matriz polimérica Reforzada con fibras de *cajanus cajan*: diseño, Caracterización y aplicación industrial

*Prototype of fiber-reinforced polymeric matrix composite material of
cajanus cajan: design, characterization, and industrial application*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7723308>

AUTORES: Dayaneth Rivera Troya^{1*}

Jessy Alban Quinto²

Juan Villamarin Barreiro³

Roberto Medina Burbano⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: Cdla. Emelrios, Babahoyo – Los Rios

Fecha de recepción: 01 / 09 / 2022

Fecha de aceptación: 21 / 11 / 2022

RESUMEN

En un planeta desgastado por la explotación excesiva de los recursos naturales no renovables, una alternativa sostenible y eco-amigable lo es, sin duda, la utilización de fibras vegetales en el desarrollo de nuevos materiales compuestos. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un prototipo de material compuesto por una matriz de

^{1*} Facultad de la Industria y Producción, Profesor-Investigador en cultivo de cacao. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus Experimental La María Km, 7 vía al Empalme, Los Ríos Ecuador, Doctorante en la Universidad Americana de Europa México-Cancún, jverac@uteq.edu.ec.

^{2*} Facultad de la Industria y Producción, Profesor-Investigador en cultivo de cacao. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus Experimental La María Km, 7 vía al Empalme, Los Ríos Ecuador, Doctorante en la Universidad Americana de Europa México-Cancún, jverac@uteq.edu.ec.

^{3*} Facultad de la Industria y Producción, Profesor-Investigador en cultivo de cacao. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus Experimental La María Km, 7 vía al Empalme, Los Ríos Ecuador, Doctorante en la Universidad Americana de Europa México-Cancún, jverac@uteq.edu.ec.

^{4*} Facultad de la Industria y Producción, Profesor-Investigador en cultivo de cacao. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus Experimental La María Km, 7 vía al Empalme, Los Ríos Ecuador, Doctorante en la Universidad Americana de Europa México-Cancún, jverac@uteq.edu.ec.

polietileno de baja densidad y fibras vegetales de la cajeta verde del frijol de gandul *Cajanus Cajan*. La fibra vegetal fue sometida a tratamientos químicos y mecánicos para obtener partículas secas de 3-4mm de longitud que luego fueron mezcladas con la matriz polimérica hasta obtener tres compuestos de diferente proporción fibra-polímero. De estos compuestos se obtuvieron 10 probetas que luego fueron sometidas a ensayos de tensión, deformación, y cuyos valores de resistencia a la tracción fueron contrastados estadísticamente con el de una probeta compuesta al 100% por polietileno de baja densidad. Los resultados arrojaron que el material con una proporción de fibra del 33% mostró mejores propiedades mecánicas, recomendándose su uso industrial en bolsas o empaques para sostener hasta 40 kg/f (392,4 N) de carga. De tal forma, el nuevo material compuesto puede aprovecharse en la sustitución de plásticos de un solo uso elaborados completamente a base de derivados de petróleo, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: *Cajanus Cajan*, fibra vegetal, materiales compuestos, matriz polimérica, propiedades mecánicas

ABSTRACT

In a planet worn out by the excessive exploitation of non-renewable natural resources, a sustainable and eco-friendly alternative is undoubtedly the use of vegetable fibers to develop new composite materials. In this context, this research aims to create a prototype of a material composed of a low-density polyethylene matrix and vegetable fibers from the green gandul pea *Cajanus Cajan*. The vegetable fiber was subjected to chemical and mechanical treatments to obtain dry particles of 3-4 mm in length. These particles were later mixed with the polymeric matrix to obtain three composites with different fiber-polymer ratios. From these composites, ten specimens were obtained, which were then subjected to stress-strain tests, and whose tensile strength values were statistically contrasted with those of a specimen composed 100% of low-density polyethylene. The results showed that the material with a fiber proportion of 33% showed better mechanical properties, recommending its industrial use in bags or packaging to support up to 40 kg/f (392.4 N) of load. Thus, the new composite material can be used to replace single-use plastics made entirely from petroleum derivatives, contributing to environmental sustainability.

Keywords: Cajanus Cajan, vegetable fiber, composite materials, polymeric matrix, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

Son diversas las investigaciones que se han realizado en torno al tema de materiales reforzados o compuestos por fibras naturales [1], [2]. Un material compuesto dispone de dos o más componentes, una fase denominada matriz y otra llamada refuerzo. En esta última fase suelen incorporarse fibras naturales, debido a que los materiales reforzados con fibras largas han mostrado tener mejores propiedades mecánicas.[3], [4] Por esta razón, resulta fundamental determinar el comportamiento físico-químico de las fibras, ya que, de forma general, es el parámetro más relevante que se debe cumplir para establecer si el material compuesto es factible o no, es decir, que exista compatibilidad con la matriz al conferir una adecuada adhesión en la interface fibra/matriz. [5], [6]. Por lo tanto, es esencial el control de la longitud de la fibra a incorporar, debido a que fibras cortas producen defectos en la interfase, aumentando la probabilidad de poseer deformaciones en el material. El refuerzo de fibras naturales actúa en el material compuesto como un componente de soporte, lo que mejora las propiedades mecánicas de los materiales. A pesar de esto, aún existen desafíos que los investigadores contemplan, como la incompatibilidad que puede surgir entre las fibras y las matrices poliméricas.[7], [8]. El uso de fibras naturales como material de soporte se ha incrementado durante los últimos años debido a los beneficios en las propiedades mecánicas que el relleno de lignocelulósicos aporta. [6], [9]. La utilización de fibras como parte de un material compuesto es, sin duda, uno de los grandes avances ecológicos que ha permitido desarrollar nuevos materiales y métodos de producción que den la posibilidad de generar compuestos eco-amigables [10]. En Ecuador se han desarrollado avances investigativos con la fibra de abacá y cabuya, debido a la fácil disponibilidad de estas fibras en los mercados locales. El abacá es una planta herbácea de gran porte de la familia de las musáceas que se cosecha en el país. La fibra de cabuya, por su parte, también ha sido aprovechada para la obtención de fibras textiles, debido a su resistencia y durabilidad. [11], [12]. Ambas fibras se han utilizado tradicionalmente en la industria textil y su fácil acceso en el país las convierte en un excelente candidato como refuerzo en los materiales compuestos. [13], [14] Sin

embargo, existen otros vegetales ricos en fibra natural que en el Ecuador constituyen desechos de ciertos sistemas de producción industrial o son empleados únicamente como alimento animal.[15], [10], [16]. Estas fibras vegetales al combinarse con otros materiales pudieran aportar un nivel de resistencia adecuado para su uso en diversas aplicaciones industriales.[14], [17] Tal es el caso de la cáscara del gandul *Cajanus Cajan*, que es un desecho industrial generado en las plantas que procesan gandul enlatado para su consumo a nivel nacional o para su exportación [18], [19]. En este contexto, el objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo de material compuesto de matriz polimérica con refuerzo de fibras de *Cajanus Cajan* (gandul) a fin de estudiar las características mecánicas del material. Para ello, probetas del nuevo material con varias composiciones de fibra y matriz, serán sometidas a ensayos de tracción, lo que permitirá comprobar su resistencia. El resto del artículo se compone de la sección de materiales y métodos empleados en la consecución de los objetivos del estudio. Los resultados de las propiedades mecánicas del nuevo material, el análisis estadístico de los datos y los usos potenciales del nuevo material en la industria y finalmente la sección de discusión de los resultados y, por último, las conclusiones.

METODOLOGÍA

Esta sección describe las características de los materiales empleados, su procedencia y los procedimientos realizados para la obtención de la fibra vegetal, la preparación de la mezcla fibra/matriz, la preparación de las probetas, así como la evaluación de las propiedades mecánicas del material compuesto y su análisis estadístico.

Materiales

La matriz polimérica utilizada fue un polietileno de baja densidad (LDPE) con índice de fluidez de 2.5 g/min y temperatura de fusión de 105°C-115°C, el mismo que fue proporcionado por una empresa de empaques para la industria alimenticia. La cáscara del gandul (*Cajanus Cajan*) fue recolectada de los patios de desechos de una planta procesadora de alimentos del cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas, que descarta este material como residuo industrial del procesamiento de la semilla de gandul. Para este estudio se recolectaron aproximadamente 5 kg de este material vegetal.

Separación de la fibra vegetal

La cáscara del gándul fue sometida a un tratamiento previo de limpieza con una solución de ácido cítrico al 25% de concentración y como tratamiento químico para reducir la polaridad de la fibra y tornarla menos hidrofílica, se expuso dicho material a una solución de hidróxido de sodio al 0,1 molar tal como se muestra en la Figura 1. De esta forma, se favoreció la hidrólisis básica de la lignina y se aumentó la rugosidad de la superficie de la fibra para mejorar la adherencia mecánica. Posteriormente la muestra fue escurrida para ser secada a temperatura de 80°C por 20 minutos hasta alcanzar una humedad del 12% con la finalidad de degradar los componentes de la cáscara de gándul como la hemicelulosa y la lignina para obtener un mayor rendimiento de fibra cruda (ver Figura 2). Y finalmente la fibra fue secada y triturada en un molino manual, hasta obtener un material con partículas de 3-4 mm de tamaño aproximadamente tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 1. Fibra de gándul en solución de hidróxido de sodio al 0,1 molar

Fuente: Autoría propia



Figura 2. Secado de la fibra a 80°C por 20 minutos

Fuente: Autoría propia



Figura 3. Partículas de cáscara de gandum de 3-4 mm de tamaño aproximadamente

Fuente: Autoría propia

Preparación de la mezcla fibra/matriz

Se elaboraron tres mezclas de fibra vegetal/matriz polimérica con distintas proporciones, tal como se muestra en la Tabla 1.

Mezcla	Proporción de fibra	Proporción de polímero
1	0,38	0,62
2	0,33	0,67
3	0,27	0,73

Tabla 1. Composición de los materiales compuestos de fibra de *Cajanus Cajan*/polímero

Fuente: Autoría propia

La forma de mezclado fue manual en un recipiente de acero inoxidable. La mezcla fue homogenizada por 3 minutos manteniendo una temperatura constante de 105°C para posteriormente ser colocada en un molde de silicona. Las dimensiones del molde fueron de 8 cm de largo y 8 cm de ancho.

Preparación de las probetas de material

Con la finalidad de obtener las probetas de ensayo de las matrices compuestas para el análisis de sus propiedades mecánicas, se prepararon 10 láminas de aproximadamente 100g de masa. Las probetas en forma de lámina se realizaron de la siguiente manera: 1 probeta de lámina con la composición de 38 g de fibra y 62 g de polietileno, 2 probetas con la composición de

33 g de fibra y 67 g de polietileno y finalmente 7 probetas con la composición de 27 g de fibra y 73 g de polietileno. Para la obtención de las láminas se usó una prensa térmica manual Carver modelo 4389. El principio de funcionamiento de este equipo es aplicar fuerza de compresión al material a moldear en un ambiente de temperatura controlada. En este caso la fuerza aplicada fue de 68N a una temperatura de 110°C con un tiempo de exposición de 5 minutos. Estos parámetros se ajustaron para obtener probetas con un ancho de 50-100 micras.

Evaluación y comparación de las propiedades mecánicas

Las probetas obtenidas fueron sometidas a análisis de tracción en una máquina universal de ensayos con el fin de comprobar la deformación de las probetas de material compuesto y comparándolas con una probeta de material 100% polietileno. En base a estos resultados, se logró determinar la resistencia a la que podrá ser sometido el material. Los análisis mecánicos fueron realizados tomando en cuenta las directrices de la norma NTE INEN 3024 “Plásticos. Película retráctil de polietileno (PE) y sus copolímeros. Requisitos y métodos de ensayo” en lo referente a los ensayos para la determinación de la retracción, el espesor medio, la tolerancia en el espesor, la tolerancia en la anchura, la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura, así como la resistencia al impacto.

Análisis estadístico

Estadísticamente es importante identificar si existe correlación entre la proporción de fibra/polietileno de las distintas mezclas de material y la propiedad mecánica de resistencia. Para ello, a través del software estadístico SPSS, se aplicó inicialmente una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y se obtuvo el valor de significancia a comparar con el nivel de significancia teórico (0,05) y de esta forma definir la aceptación o rechazo de la hipótesis nula, la misma que establece que todos los datos siguen una distribución normal. En el caso de que se acepte la hipótesis nula se deberá aplicar una prueba de correlación bilateral para datos normales, con la finalidad de obtener el coeficiente de correlación de Pearson. En caso de que los datos no sigan una distribución normal será necesario aplicar una prueba no paramétrica de la correlación de rango, o prueba de correlación de Spearman.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de esfuerzo-elongación a las distintas probetas del material desarrollado para las distintas proporciones de fibra definidas en la Tabla 1, así como también los resultados del ensayo considerando probetas al 100% de polietileno. Luego se contrastan estos resultados desde el punto de vista estadístico. Por último, se presentan posibles aplicaciones industriales para el nuevo material compuesto.

Análisis de las propiedades mecánicas

La diferencia de la propiedad mecánica resistencia (kg/f) entre una película con composición del 100% de polietileno al 100% versus una película de matriz reforzada con fibra de *Cajanus Cajan*, se debe a su composición y este enunciado se puede aseverar al verificar la fuerza resultante aplicada al material, para este caso la fuerza en kg/f de una película para uso convencional aplicado en fundas de polietileno al 100% posee resistencia de 15 a 20 kg/f (147,15 a 196,2 N) a comparación de una matriz compuesta de Abacá y poliéster, según estudios va de 30 a 40 kg/f (392,4 a 490,5 N). La Tabla 2 presenta los resultados del análisis de las propiedades mecánicas de los diez prototipos de material compuesto a distintas proporciones de fibra y matriz polimérica. En ella se observa que, a medida que aumenta la cantidad de fibra vegetal en el material hasta una proporción del 0,33, aumentan sus propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, porcentaje de rotura y porcentaje de elongación. Nótese que en el caso de la probeta 1, con una proporción de fibra de 0,38, estas propiedades mecánicas muestran valores menores que en el resto de las probetas con diferente composición.

N	Fibra (g)	Polietileno (g)	Resistencia Kg/f	Elongación (%)	Rotura (%)
1	38	62	18,05	4,49	7,17
2	33	67	37,27	10,25	11,63
3	33	67	34,88	13,12	15,91
4	27	73	30,48	9,00	10,81
5	27	73	30,98	6,87	7,49
6	27	73	30,83	9,24	10,62
7	27	73	32,46	5,95	6,22

8	27	73	13,36	4,17	8,79
9	27	73	27,06	4,88	7,47
10	27	73	24,61	5,54	6,97

Tabla 2. Características mecánicas de las probetas de material compuesto (fibra vegetal/polímero)

Fuente: Autoría propia

En la Figura 4 Se muestra la interacción de la fuerza aplicada sobre el material, en Newton, y su porcentaje de elongación. Aquí también puede observarse la relación directamente proporcional existente entre la fuerza a emplear para obtener un mayor porcentaje de deformación. La mayor fuerza aplicada (365 N o 37,27 kg/f) corresponde al prototipo con 33g de fibra y 67g de polietileno, obteniéndose valores de 15,91% de rotura y 13,12% de elongación. Este porcentaje de rotura en la probeta con la formulación anteriormente mencionada permite deducir que se requiere mayor fuerza aplicada, puesto que, existe una alta resistencia al impacto, es decir, el material absorbe mayor energía antes de romperse.

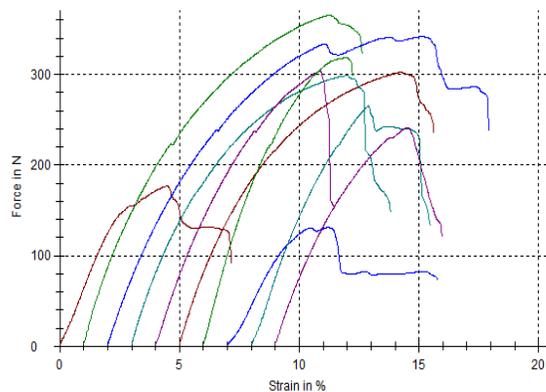


Figura 4. Gráfica de tensión/elongación de las probetas ensayadas

Fuente: Autoría propia

La Figura 5 muestra una representación de la probeta de composición 0,33 de fibra/0,67 matriz polimérica a simple vista y a través de microscopio

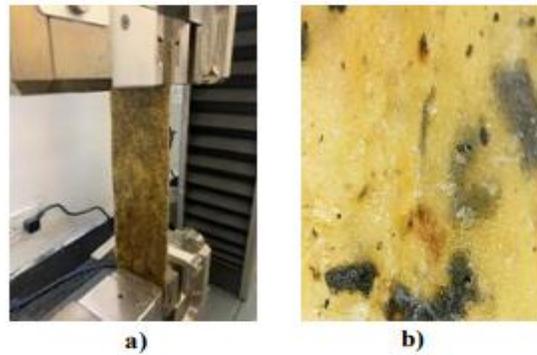


Figura 5. Probeta de matriz reforzada con fibra de *Cajanus Cajan*:

a) a simple vista, b) vista a través del microscopio

Fuente: Autoría propia

La Tabla 3, muestra los resultados de los análisis de las características mecánicas de estudio para la matriz polimérica. En este caso se resalta que los valores del porcentaje de rotura no son reflejados por el equipo, ya que, superan la escala de lectura y esto confirma la propiedad de elongación de la matriz polimérica de ensayo. Por otra parte, la resistencia permanece constante y obtiene un valor promedio de 2,481 kg/f (24,34 N).

N	Polietileno (g)	Resistencia kg/f	Elongación %	Rotura %
1	100	2,62	171,76	-
2	100	2,27	168,81	-
3	100	1,85	41,89	-
4	100	2,06	37,45	-
5	100	2,64	40,40	-
6	100	2,87.	177,43	-
7	100	2,48	176,25	-
8	100	2,95	39,11	-
9	100	2,65	167,94	-
10	100	2,42	40,40	-

Tabla 3. Características mecánicas de la probeta de polimérica (polietileno)

Fuente: Autoría propia

La figura 6 representa la interacción gráfica de la fuerza aplicada sobre el material de polietileno en Newton, y su porcentaje de elongación. En este caso aplicando una fuerza

máxima de 30 N en las diferentes probetas de ensayo se observa que no existe variación en el % de elongación, ya que, la propiedad de este polímero con estructura lineal es de formación flexible..

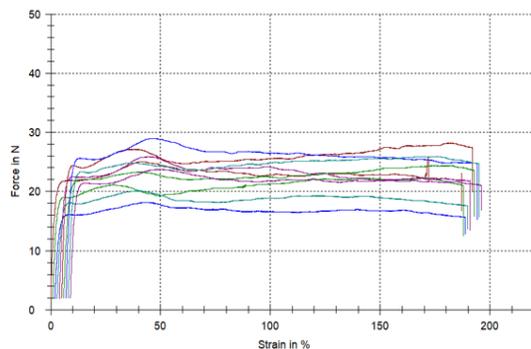


Figura 6. Gráfica de elongación de la película de polietileno

Fuente: Autoría propia

En la Figura 7 se muestra la representación de la probeta de composición al 100% de polietileno a simple vista y a través del microscopio.

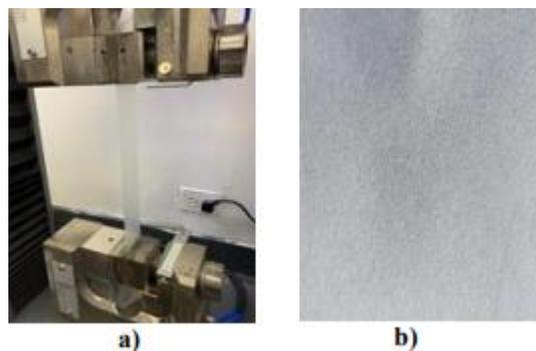


Figura 7. Probeta de la película de polietileno:

a) a simple vista, b) vista a través del microscopio

Fuente: autoría propia

Análisis estadístico

Dado que no se conoce la distribución específica que siguen los datos del porcentaje de resistencia obtenidos en el análisis de las propiedades mecánicas de las diferentes probetas de la matriz compuesta y matriz polimérica, es necesario aplicar una prueba de verificación. En este caso se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Al aplicar la prueba,

se obtuvo un valor p de 0,027, el mismo que es inferior al valor de significancia teórica de la prueba (0,05), por lo que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula que establece que todos los datos siguen una distribución normal. A partir de esta premisa fue necesario aplicar la prueba no paramétrica de correlacionalidad bilateral de Spearman. La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos del análisis de correlacionalidad.

Polietileno - Resistencia	Coefficiente de correlación	-0,225
	Sig. (bilateral)	0,532
	N	10
Fibra - Resistencia	Coefficiente de correlación	0,225
	Sig. (bilateral)	0,532
	N	10

Tabla 4. Resultados de prueba de correlación bilateral de Spearman

Fuente: Autoría propia

Posibles aplicaciones del nuevo material en la industria

El impacto del refuerzo de la cáscara de gandul en la composición de la matriz permite establecer el uso y destino del nuevo material. En este caso se sugiere que el material compuesto puede ser usado para la fabricación de vajillas, sorbetes, contenedores de alimentos y demás utensilios de un solo uso. Las ventajas inherentes para la aplicación de la matriz reforzada con fibra de *Cajanus Cajan* como un material para la fabricación de utensilios de un solo uso radica en la resistencia mecánica otorgada por la fibra vegetal y en este caso aprovechar este material vegetal que es un desecho industrial hace que su aplicación no solo aporte a la innovación y desarrollo de materiales sino también a la reducción del impacto ambiental por el uso desmesurado de polímeros derivados del petróleo como el polietileno de baja densidad que es usado para la elaboración de fundas, vasos y cucharas desechables

DISCUSIÓN

Los resultados de la matriz compuesta de fibra de la cáscara de *Cajanus Cajan* (gandul) y polietileno ofrecen la resistencia y elongación adecuada para ser aplicados en bolsas o empaques que pueden sostener hasta 40 kg/f (392,4 N) y esta alternativa de uso puede ser comparable con la resistencia de matrices compuestas de abacá y poliéster, puesto que al ser combinadas ofrecen una resistencia que 30 a 40 kg/f (392,4 a 490,5 N), valor próximo a nuestro prototipo de estudio. El coeficiente de correlación de Spearman de 0,225 de la interacción resistencia matriz reforzada con fibra de *Cajanus Cajan*, denota que la relación de correlacionalidad es baja o en definitiva no existe correlación entre las variables antes mencionadas, ya que, al obtenerse un valor r cercano a cero el grado de asociación lineal es nulo, sin embargo, al analizar los resultados de la prueba mecánica de la resistencia se observa que el material alcanza hasta 35 kg/f cuando se añade a la formulación del prototipo 37 % de fibra vegetal, por tanto, es acertado establecer que sí existe un efecto reforzante en la matriz con fibra de cáscara de gandul. Por otro lado, el coeficiente de correlación rho Spearman de $-0,225$ demuestra que existe una relación inversa entre la resistencia mecánica y la fibra sintética (polietileno), esta premisa se confirma al analizar los resultados de la resistencia (2,48 kg/f) cuando la matriz únicamente se compone de polietileno.

CONCLUSIONES

Este artículo presenta como novedad el desarrollo de un prototipo de material compuesto de fibra de *Cajanus Cajan* (gandul) y matriz de polietileno que puede ser empleado en ciertas aplicaciones industriales como alternativa a otros materiales. Entre las probetas del nuevo material sometidas a ensayos de tensión-deformación, se determinó que las mejores propiedades mecánicas se alcanzan cuando a la matriz polimérica de alta densidad se le añade una proporción de 33% de fibra de *Cajanus Cajan*. Las propiedades mecánicas alcanzadas en el 33% de fibra mencionada anteriormente arrojaron valores cercanos a los esperados en base a estudios previos. En un estudio se cita a una matriz compuesta de Abacá y poliéster, representando una resistencia de 30 a 40 kg/f (392,4 a 490,5 N), mientras que, el prototipo usado de matriz reforzada con fibra de *Cajanus Cajan* y polímero alcanza resultados de 37,27 kg/f (365 N o 37,27 kg/f) con 15,91% de rotura y 13,12% de elongación, esto nos demuestra

que los resultados son de gran similitud con el estudio en mención. Al comparar específicamente la resistencia mecánica del nuevo material compuesto con otro material constituido al 100% por polietileno, se determinó que el nuevo material es resistente para el uso de bolsas o empaques que pueden sostener hasta 40 kg/f (392,4 N). De tal forma, el nuevo material de matriz compuesto de fibra de *Cajanus Cajan* (gandul) y matriz de polietileno, elaborado a partir de un desecho industrial, puede aprovecharse en la sustitución de plásticos de un solo uso elaborados completamente a base de derivados de petróleo, contribuyendo de esta forma a la sostenibilidad del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Álvarez-Castillo et al., “Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos,” 2012.
- [2] U. Iztapalapa and M. Cruz-Estrada, “Universidad Autónoma Metropolitana,” *Rev. Mex. Ing. Química*, vol. 5, pp. 29–34, 2006, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62009906>.
- [3] Estrada Mejia Martin, “Departamento de ingeniería civil y ambiental facultad de ingeniería,” Bogotá, Colombia, 2010.
- [4] O. S. V. Amigó¹, M.D. Salvador¹, R. Llorens², F. Martí², “Comportamiento mecánico de polietileno de alta densidad reciclado reforzado con fibras naturales,” 2008, p. 1/19.
- [5] T. Majewski and A. Błędzki, “Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales,” *Memorias Del Xix Congr. Int. Anu. La Somim*, pp. 676–682, 2013.
- [6] V. Amigó, O. Sahuquillo, and R. Llorens, “Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales.”
- [7] S. Restrepo, G. Arroyave, and D. Vásquez, “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,” *SENA Cent. Nac. Asist. Técnica a la Ind.*, pp. 77–86, 2016.
- [8] K. Senthilkumar et al., “Evaluation of mechanical and free vibration properties of the pineapple leaf fibre reinforced polyester composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 195, pp. 423–431, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.081.
- [9] D. Segura, “Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables,” no. January 2007, pp. 361–372, 2015. [10] V. H. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado, and S. Galeas, “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas,” Quito, Ecuador, 2013.
- [11] V. H. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado, and S. Galeas, “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas.”

- [12] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 83, pp. 98–112, 2016, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
- [13] C. Elanchezian, B. V. Ramnath, G. Ramakrishnan, M. Rajendrakumar, V. Naveenkumar, and M. K. Saravanakumar, “Review on mechanical properties of natural fiber composites,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 1, pp. 1785–1790, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.276.
- [14] C. A. P. Guerrero, “Caraterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de yucca elephantipes para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” *universidad técnica de ambato facultad de ingeniería civil y mecánica*, 2018.
- [15] V. Amigó, D. Salvador, O. Sahuquillo, R. Llorens, and F. Martí, “Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos,” no. May, 2014.
- [16] P. Pontón and V. H. Guerrero, “Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual,” *Diciembre*, 2010.
- [17] Geovanny Santiago Benavides Salinas, “Caracterización de las propiedades mecánicas del material híbrido utilizando matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá,” *universidad técnica de ambato facultad de ingeniería civil y mecánica*, 2017.
- [18] M. R. Sanjay, S. Siengchin, J. Parameswaranpillai, M. Jawaid, C. I. Pruncu, and A. Khan, “A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 207, no. October 2018, pp. 108–121, 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.11.083.
- [19] S. García Diez, “FIBRAS Y Materiales de refuerzo: los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3d,” 2011.
- [20] L. O. Quintero García, Sandra Liliana; González Salcedo and Uso, “Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto,” *Redalyc.org, Barranquilla, Colom-bia*, p. 1/18, 2006.

- [21] Gabriel Eduardo Mazón Ortiz, “Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” universidad técnica de ambato facultad de ingeniería civil y mecánica, 2017.
- [22] R. Vijay et al., “Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fibers from *Tridax procumbens*,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 125, pp. 99–108, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.056.