



POLITÉCNICA

Contents lists available at POLI-RED

IngeniaMateriales

Journal homepage: [http://polired.upm.es/index.php/ingenia\\_materiales](http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales)



# Estudio de las propiedades de un bioplástico según sus refuerzos

M. Brigidano, A. Ramírez, E. Romero, A. Villanueva

*E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain*

## INFORMACIÓN

### Información del Proyecto:

Entrega anteproyecto 15 marzo 2021

Entrega Proyecto 21 mayo 2021

Disponible online 5 Julio 2021

### Keywords:

Bioplástico

Caracterización

Refuerzo

## ABSTRACT

El estudio trata de la caracterización de un bioplástico con diferentes refuerzos buscando las propiedades más adecuadas según su aplicación, consiguiendo además un material biodegradable que no suponga un problema para el medio ambiente una vez haya acabado su vida útil. Este estudio está basado en el proyecto llamado "Bioplástico con cáscara de fruto seco" [1], incluido en la revista IngeniaMateriales del año pasado, comparando los resultados de una misma matriz sin reforzar, y con refuerzo de cáscara de almendra, de nuez, sílice y madera. Las propiedades medidas son la resistencia máxima a tracción, la influencia de los tratamientos térmicos, la resistividad eléctrica, la dureza, la densidad y la resistencia frente a agentes químicos.

© 2021 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

## 1. Introducción

Los plásticos de un solo uso se han convertido en uno de los principales problemas para el medio ambiente en los últimos años. Esto es debido a que es la solución más fácil y práctica para empaquetar, gracias a sus propiedades y su bajo coste de producción. Estos plásticos de un solo uso acaban convirtiéndose en residuos que son, o bien desechados de forma incorrecta y acaban, en muchas ocasiones, en entornos naturales, de los que tardarán muchísimos años en desaparecer; o acumulados en plantas de reciclaje, ocupando espacio al que se le podría dar otros usos. A la hora de producir un bioplástico biodegradable, el objetivo es crear el menor impacto posible sobre el planeta cuando la gente incívica e irresponsable lo deje en un lugar poco apropiado.

Además del beneficio que obtenemos reduciendo la contaminación, estos bioplásticos podrían ser utilizados por empresas que están empezando a mostrar cada vez más interés en usar materiales biodegradables en la manufacturación de sus productos. Lego se ha establecido el objetivo de fabricar sus piezas con un 100% de plástico biodegradable para 2030. Por eso, a pesar de que los bioplásticos no son ninguna novedad, estudiar la variación de sus propiedades según el refuerzo que se le aplique podría ser útil para definir cuáles son sus aplicaciones más adecuadas para la industria tecnológica.

Como hemos mencionado anteriormente, este estudio está basado en el proyecto del año pasado "Bioplástico con cáscara de fruto seco", por lo cual hemos propuesto como refuerzos la cáscara de la nuez y la almendra pudiendo así analizar también si hay alguna diferencia entre las propiedades que aportan estas. Además, se utilizó sílice como ejemplo de refuerzo cerámico y madera, para dar una vida útil a los residuos sobrantes de otras producciones, o, como una posible solución para ingentes cantidades abandonadas que se acumulan en campos y montes desde que la leña haya sido dejada de utilizar habitualmente como método de calefacción, pudiendo propagar o avivar incendios forestales.

Por otro lado, este proyecto busca satisfacer los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Los objetivos que consideramos cumplidos durante la realización del mismo son el número 9: Industria, innovación e

infraestructura, creando un material nuevo y diseñando la forma óptima de hacer los distintos ensayos; el 12: Producción y consumo responsables, con la creación de un nuevo material compuesto de productos biodegradables; 13: Acción por el clima y el 15: Vida de ecosistemas terrestres, retirando madera no utilizada del entorno natural.



Figura 1. Símbolo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

#### 2.1.1. Componentes

Maicena, glicerina, agua, vinagre, madera, cáscaras de nueces, cáscaras de almendras, arena de sílice (diámetro 0.5-1 mm).

#### 2.1.2. Instrumentos

Olla, vasos, cucharas, horno, congelador, papel film, báscula, molinillo de café, mortero, varilla, cocina de fuego, gatos, garrafas, cuerda, cinta americana, manguera, multímetro, cúter, pala, azada, monedas,

serrucho, regla, calibre, folios, cubo, Microsoft Excel, Microsoft Word, dinamómetro digital.

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Fabricación del bioplástico

Se introducen proporciones tales que el 71.89% de masa total sea agua y 11.5% de maicena en un cuenco. Una vez mezclado, se vierte en la olla a fuego alto. Tras tres minutos, se añade el 7.54% de vinagre y el 9.05% de glicerina. Removemos continuamente hasta que espese. Llegado este punto, bajamos el fuego y esperamos a que empiece a hervir, que será cuando lo esparzamos sobre los moldes. Para dejarlo con un grosor uniforme, nos ayudamos de lenguas y cucharas.

Para los bioplásticos con refuerzo, se sigue el mismo procedimiento, no obstante, se debe añadir dicho refuerzo (1.88%) a la mezcla de maicena (11.28%) y agua (70.54%). Los porcentajes de vinagre y glicerina cambian a 7.4% y 8.88%. En función del grosor que se quiera conseguir, el tiempo de secado puede oscilar entre un par de días para espesores inferiores a 5 mm y alrededor de un mes para los superiores a 1,5 cm.



Figura 2. Fabricando el bioplástico

### 2.2.2. Fabricación de los refuerzos

Para reducir el tamaño de los granos de los refuerzos, se aplicaron tratamientos mecánicos tanto a las cáscaras de almendra y nuez, con un mortero y molinillo de café, como a la arena de sílice, mediante el uso de la pala y la azada, para tratar de reducir su granulometría inicial, que era de 0.5 a 1 mm. Para la viruta de madera, se serraron listones de madera y se recogió el serrín resultante.

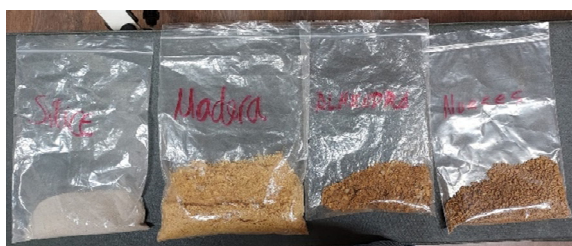


Figura 3. Refuerzos.

### 2.2.3. Caracterización

#### 2.2.3.1. Densidad

Se pesaron muestras de cada material y posteriormente se calculó su volumen. Ecuaciones:

$$\rho = m/V \quad (1)$$

#### 2.2.3.2. Ensayo de tracción

La probeta se encontraba sujeta por sus extremos a dos gatos. Uno de ellos estaba acoplado al dinamómetro y el otro estaba unido a una

garrafa de agua que se llenaba poco a poco con una manguera. De esta forma, la carga se iba aplicando progresivamente sobre la probeta, semejante a un ensayo en una máquina de tracción de laboratorio. El dinamómetro colgaba de un punto fijo, con todo el sistema suspendido debajo. Se hicieron tres ensayos de cada material, calculando la resistencia media de cada uno. Las ecuaciones empleadas fueron:

$$F = m * a \quad (2)$$

$$\sigma = F/A_0 \quad (3)$$



Figura 4. Ensayo de tracción

#### 2.2.3.3. Tratamientos térmicos: calor y frío

Se sometieron distintas probetas de cada bioplástico a una temperatura de 150 °C en el interior del horno durante 20 minutos y se dejaron enfriar durante 5 minutos. Posteriormente fueron sometidas a ensayos de tracción.



Figura 5. Probetas en el horno

Para el tratamiento térmico de frío, se dejaron las probetas en un entorno con temperatura de -18 °C durante 4 horas y media, y se les sometió a ensayos de tracción.

#### 2.2.3.4. Resistividad eléctrica

Es la resistencia eléctrica específica de un material. Se midió utilizando un polímetro, conectado a un par de pletinas de aluminio. Entre ambas pletinas se colocó una probeta del material y se midió la resistencia eléctrica.

Las ecuaciones empleadas fueron:

$$\rho = R * l \quad (4)$$



Figura 6. Midiendo resistividad eléctrica

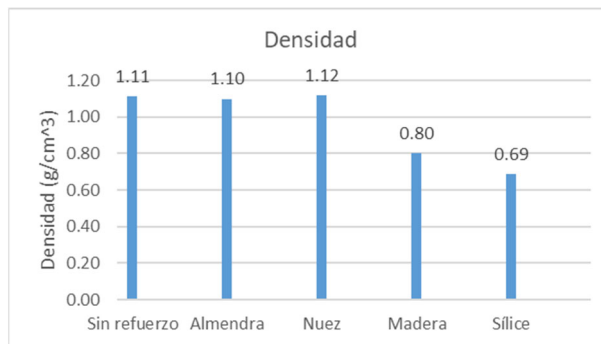


Figura 9. Densidades de los materiales

2.2.3.5. Dureza Mohs

Se trataron de rayar muestras de cada plástico con los distintos materiales que indica esta norma.

2.2.3.1. Ataque químico

Se introdujeron probetas en disoluciones tanto de ácido fuerte (HCl 24 %) como de base fuerte (NaOH, cantidad indeterminada).



Figura 7. Ataque químico

2.2.3.2. Transición vítrea

Se introdujeron probetas en el horno y se incrementó progresivamente la temperatura hasta llegar a los 250 grados centígrados.



Figura 8. Medición de la T<sub>g</sub>

3. Resultados de los ensayos

3.1. Densidad

La densidad de los plásticos fue cercana a 1 en todos los casos, siendo el menos denso el que contenía sílice, 0.69 g/cm<sup>3</sup>, y el más denso el reforzado con nuez, con 1.12 g/cm<sup>3</sup>.

3.2. Ensayo de tracción

Los bioplásticos sometidos a tracción que tenían refuerzo tuvieron una resistencia máxima a tracción mayor que el no reforzado, exceptuando el caso de la almendra, que no consiguió mejorar las propiedades. El más resistente fue el de sílice, aguantando más de 1.4 MPa y mejorando 650 kPa respecto del no reforzado. Además, se pudo observar la deformación plástica del material tras la rotura. Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción

Tabla 1. Resultados de los ensayos térmicos de calor y frío

Tracción					
Reforzo	Sin refuerzo	Almendra	Nuez	Madera	Sílice
R <sub>máxM</sub> (g)	2083.33	2006.67	2966.67	2966.67	3736.67
R <sub>máxM</sub> (N)	20.43	19.68	29.09	29.09	36.65
R <sub>máxM</sub> (MPa)	0.836	0.805	1.190	1.190	1.499



Figura 10. Comparación de la resistencia máxima a tracción, según el refuerzo

3.3. Tratamientos térmicos

Tras ser sometidas las probetas al tratamiento térmico de calor, empeoraron sus propiedades todas a excepción del material no reforzado y del reforzado con almendra, que mejoraron considerablemente. Tanto el reforzado con madera como el de nuez y el de sílice empeoraron su resistencia máxima unos 100 kPa. Se observó un incremento en la fragilidad de todas las probetas, lo cual dificultó la obtención de datos ya que resultaba extremadamente fácil romperlas sin querer al colocarlas en nuestra "máquina de ensayos". Además, el aspecto de las probetas cambió a un color marrón en todas ellas, cuando sin aplicar el tratamiento térmico el bioplástico es de color blanquecino o transparente. Se apreció una disminución tanto de la deformación de la probeta durante el ensayo de tracción como de la deformación plástica tras la rotura.

Tabla 2. Resultados de los ensayos térmicos de calor y frío

Tratamiento térmico de calor					
Refuerzo	Sin refuerzo	Almendra	Nuez	Madera	Sílice
RmáxM (g)	3566.67	3013.33	2573.33	2200.00	3186.67
RmáxM (N)	34.98	29.55	25.24	21.58	31.25
RmáxM (MPa)	1.431	1.209	1.032	0.882	1.278
Tratamiento térmico de frío					
Refuerzo	Sin refuerzo	Almendra	Nuez	Madera	Sílice
RmáxM (g)	2499.67	910.00	2616.67	2116.67	3493.33
RmáxM (N)	24.51	8.92	25.66	20.76	34.26
RmáxM (MPa)	1.003	0.365	1.050	0.849	1.401

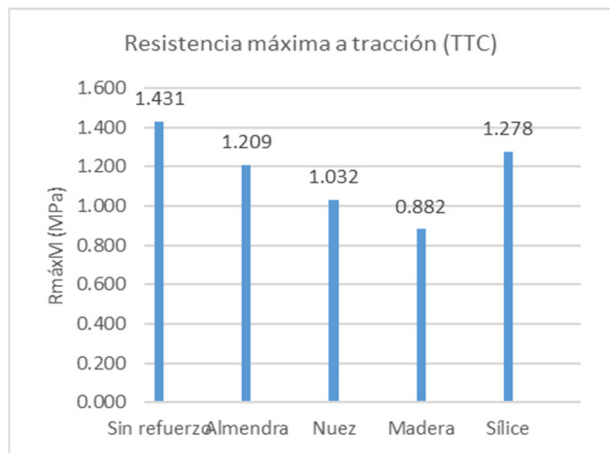


Figura 11. Resistencia máxima, tras tratamiento térmico de calor



Figura 12. Elongación de la probeta por deformación plástica

Por otro lado, los resultados del tratamiento térmico de frío mostraron un claro empeoramiento en las propiedades mecánicas, destacando el caso del refuerzo de almendra, que perdió más de 400 kPa de resistencia máxima. Sin embargo, el material sin refuerzo experimentó una ligera mejora. El de sílice fue el menos afectado.

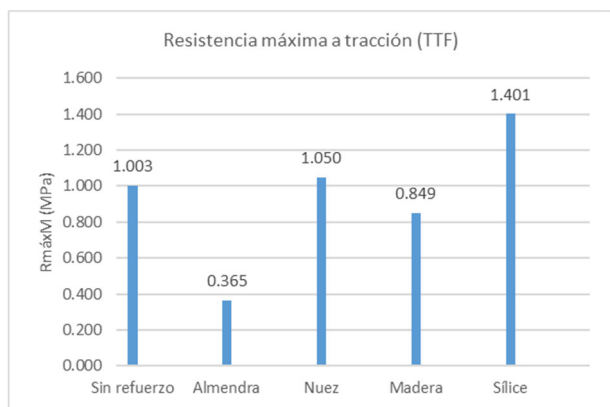


Figura 13. Resistencia máxima de las muestras tras ser sometidas al tratamiento de frío

### 3.4. Resistividad eléctrica

Los materiales tuvieron una resistividad eléctrica del orden de  $10^2$  y  $10^3$  ohmios por metro, destacando el material reforzado con nuez, que llegó a casi 7000. El resto de los materiales se mantuvieron entre 300 y 1000  $\Omega \cdot m$ . Son valores medios, habiendo materiales muy conductivos como la plata, que llega a  $10^{-8}$  y otros muy resistivos como el cuarzo, que llega a los  $10^{17}$ .

Tabla 3. Resultados de los ensayos de determinación de la resistividad eléctrica

Resistividad Eléctrica					
Refuerzo	Sin refuerzo	Almendra	Nuez	Madera	Sílice
Resistencia ( $M\Omega$ )	0.200	0.195	3.280	1.790	2.020
Grosor (m)	0.0018	0.0032	0.0020	0.0010	0.0009
Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	360.00	624.00	6560.00	1790.00	1818.00

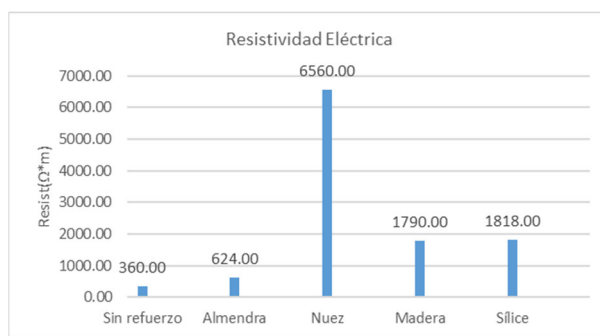


Figura 14. Comparación de resistividades eléctricas

### 3.5. Dureza Mohs

La dureza de todos los materiales es muy similar, oscilando entre 4 y 6 de dureza Mohs.

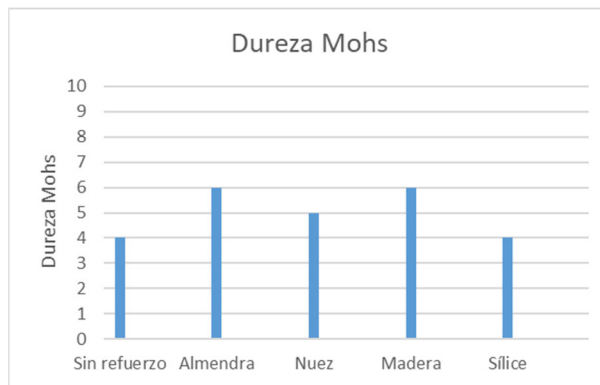


Figura 15. Dureza de los materiales

### 3.6. Ataque químico

La resistencia a ataque químico en medio ácido produjo resultados similares en todas las probetas, que redujeron su tamaño, pero aumentaron su grosor y viscosidad. En cuanto al medio básico, todas las probetas incrementaron la viscosidad y se observó un deterioro de las propiedades mecánicas hasta el punto de romperse fácilmente entre los dedos, excepto el bioplástico sin refuerzo, que prácticamente desapareció por completo.





Figura 16. Probetas tras sometidas a medio básico



Figura 17. Probetas sometidas a medio ácido

### 3.7. Transición vítrea

Todas las probetas comenzaron a calcinarse excepto la de refuerzo de almendra, que estaba parcialmente derretida. Al finalizar la experiencia, se pudo observar una gran cantidad de humo proveniente de las probetas calcinadas.

## 4. Conclusiones

Nuestra hipótesis inicial sobre el tiempo de secado nos llevó a fabricar un bioplástico demasiado grueso que tardó demasiado en secarse. Tras realizar de nuevo el bioplástico con grosor inferior al inicial, pudimos realizar correctamente todos los experimentos.

Los componentes del material son productos fácilmente accesibles en establecimientos comunes y supermercados, incluyendo la glicerina vegetal, que fue adquirida en una tienda de cosméticos. En cuanto a los refuerzos, el más complejo de conseguir es la arena de sílice, cuya obtención se dio por medios internos del grupo.

Las propiedades biocidas del vinagre nos han hecho desestimar el uso del metabisulfito sódico en contraposición de la decisión tomada por nuestros compañeros de segundo de bachillerato en México, quienes realizaron un interesantísimo trabajo en su proyecto "Cáscara de plátano para salvar el planeta".

Los ensayos realizados en el presente proyecto arrojan datos que corroboran parcialmente nuestras hipótesis iniciales. Como se puede observar en los resultados, la inclusión de refuerzos en el bioplástico mejoró claramente sus propiedades de resistencia máxima, dureza y resistencia al ataque químico en medio básico. En éste último experimento, el plástico no reforzado prácticamente se desintegró, por lo cual la resistencia de los demás materiales en este ámbito es considerablemente mayor.

En lo que se refiere a la resistividad eléctrica, los materiales reforzados no sufrieron un incremento sustancial en comparación con la base, excepto en el caso de la nuez, cuyo incremento fue mucho más acusado que el del resto. Llegó a ser casi 20 veces superior al del no reforzado, sin acercarse aun así a valores de materiales utilizados como aislantes.

La dureza de los materiales reforzados incrementó entre uno y dos puntos en la escala Mohs con respecto al que no lo estaba, excepto el

de sílice, que se mantuvo igual. La dureza de las probetas fue media en la escala, aunque superó las expectativas del grupo.

Al medir la densidad, los materiales sin refuerzo, de almendra y de nuez resultaron tener una densidad mayor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , con valores muy similares entre sí. Sin embargo, tanto el de madera como el de sílice fueron menos densos que el agua, sin llegar a ser una diferencia no fue acusada. El caso de la madera pudo haber sido predicho, ya que para masas similares del refuerzo antes de ser mezclado, era uno de los que más volumen ocupaba.

La temperatura de transición vítrea del material, en función de su refuerzo, o bien será superior a los  $200^\circ\text{C}$ , o no tendrá, ya que las probetas se sometieron a una temperatura de  $250^\circ\text{C}$  y parecían empezar a destruirse. La excepción a esto y la razón por la que pensamos que sí puede tener  $T_g$  el material es el caso del refuerzo de almendra, que empezó a derretirse y, dadas sus menores capacidades en otros ámbitos del experimento, podemos suponer que tenga también una resistencia térmica menor.

En cuanto a la influencia de los tratamientos térmicos, ambos empeoraron las propiedades generales de los materiales, si bien se observó un mayor deterioro tras el tratamiento de frío.

Recopilando toda esta información, el material con mejores propiedades mecánicas fue el reforzado con sílice, ya que fue el más resistente y al que menos le afectaron los tratamientos térmicos, además de ser el menos denso. Se trata de un material de matriz polimérica y refuerzo cerámico, y poco denso, características que comparte, además de la mejora en su resistencia a tracción, con la fibra de carbono, por supuesto en menor medida. Sin embargo, se trata de un material flexible y relativamente blando, características adquiridas por la disposición y naturaleza de su refuerzo, y las proporciones entre matriz y refuerzo, que dejan muy expuesto el bioplástico.

Por el contrario, el plástico con mejores propiedades resistivas es el de nuez con mucha diferencia, superando los  $6500 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$  por metro, aunque no se le puede calificar como aislante. Del otro lado, el más conductivo es el no reforzado, bajando hasta los  $360 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ , aunque tampoco se le puede calificar de conductor.

También hemos concluido que las propiedades podrían haberse visto afectadas por la granulometría de los refuerzos, que debía haber sido menor. Esto se nota especialmente en el caso de la nuez, que al ser más dura que la almendra y menos frágil que la arena, no pudo ser desbastada por los mismos métodos que las anteriores.

## 5. Agradecimientos

Queremos hacer un agradecimiento a la familia Villanueva Tomás por prestarnos su casa para realizar el trabajo, y en especial a Carmen por aguantarnos con paciencia y cariño, tratarnos de una manera muy cercana, y saber tener el temple necesario para tener todo bajo control.

## 6. Bibliografía

- [1] Hurtado, I., Sánchez, A., Rebollo, C., Sánchez, D., Piedra, C., Luengo, A.,... González, A. (2020). *Ingeniería Materiales* (2) 3-74.
- [2] Fer (7 de septiembre de 2016) Bricolaje 10.com. Párrafos 4-9. <https://bricolaje10.com/bioplasticos/>
- [3] Reina, E. (20 de julio de 2016) Cáscaras de plátano para salvar el planeta. El País. [https://elpais.com/internacional/2016/07/14/mexico/1468510527\\_186268.html](https://elpais.com/internacional/2016/07/14/mexico/1468510527_186268.html)
- [4] ONU (2015) *Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible* (un.org)