

**Recepción:** 03 de agosto de 2015

**Aceptación:** 01 de septiembre de 2015

**Publicación:** 10 de septiembre de 2015

# GREEN COPOSITES BASADOS EN POSIDONIA. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA. PARTE 1

---

GREEN COMPOSITES BASED ON POSIDONIA.  
MECHANICAL CHARACTERIZATION. PART 1.

David Juárez Varón<sup>1</sup>

Rafael Balart Gimeno<sup>2</sup>

Miguel Sánchez Llopis<sup>3</sup>

Ana Mengual Recuerda<sup>4</sup>

1. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [djuarez@upv.es](mailto:djuarez@upv.es)
2. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [rbalart@mcm.upv.es](mailto:rbalart@mcm.upv.es)
3. Ingeniero Técnico Industrial, especialidad Mecánica. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [misncllo@epsa.upv.es](mailto:misncllo@epsa.upv.es)
4. Ingeniero en Organización Industrial. Doctorando en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-Mail: [amrecuerda@hotmail.com](mailto:amrecuerda@hotmail.com)

## RESUMEN

El presente estudio pretende obtener Green Composites formados con una matriz de PLA y fibra de la planta de Posidonia y compararlos con las propiedades mecánicas del PLA virgen. Para ello se ha estudiado la influencia de los agentes de acoplamiento añadidos al composite y la influencia del porcentaje de fibra en el material.

Se han llevado a cabo ensayos de caracterización mecánica, presentando los resultados de los ensayos de tracción en este estudio.

## ABSTRACT

This study aims to obtain Green Composites formed with a PLA matrix and fiber plant Posidonia and compare them with the mechanical properties of virgin PLA. Therefore, we have studied the influence of the coupling agents added to the composite and the influence of the percentage of fiber in the material.

We have performed tests of mechanical characterization, presenting the results of the tensile tests in this study.

## PALABRAS CLAVE

Green Composites; PLA; posidonia; termoplástico; caracterización

## KEY WORDS

Green Composites; PLA; posidonia; thermoplastic; characterization

## INTRODUCCIÓN

### MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto es un sistema material integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí. Asimismo, si los materiales compuestos son usados por sus peculiares propiedades estructurales, la definición de materiales compuestos se puede restringir a aquellos en los que una sustancia componente es el refuerzo (conocido por fibra o partícula) soportado por la otra fase que actúa como material aglutinante (conocido como matriz).

Históricamente, se han empleado una enorme variedad de materiales reforzados. Durante siglos, la paja ha sido utilizada para darle resistencia a los adobes. En las estructuras de hormigón se introducen como refuerzo varillas de acero. Las fibras vítreas en una matriz polimérica producen la fibra de vidrio para aplicaciones de transporte y aeroespaciales. Las fibras hechas de boro, grafito y polímeros proporcionan un refuerzo excepcional.

Los materiales compuestos suelen elaborarse con fibras sintéticas integradas en una matriz, material que las rodea y las fija. El tipo de material compuesto más utilizado es el compuesto de matriz polimérica que consiste en fibras de un material cerámico, como el carbono o el vidrio, insertadas en una matriz plástica. Por lo general, las fibras ocupan alrededor del 60% del volumen en los compuestos de este tipo.

En la actualidad, los materiales compuestos se han aplicado en las industrias tecnológicamente avanzadas como la aeronáutica o la aeroespacial. Asimismo, el avance tecnológico y la disminución de costes de producción han provocado que cada día su utilización se generalice más a todo tipo de productos. Los materiales compuestos han entrado con fuerza dentro de muchas aplicaciones como por ejemplo en la industria del automóvil, en la fabricación de pequeños barcos, como material base de conducciones y contenedores de fluidos, en los objetos deportivos, en la rehabilitación de edificios, etc.

### GREEN COMPOSITES

En los últimos años se ha expandido la búsqueda de nuevos materiales de altas prestaciones y costes asequibles. Con la creciente preocupación medioambiental y restricciones en las normativas, esta búsqueda se enfocó particularmente sobre materiales respetuosos con el medio ambiente, con nuevos términos de moda como 'renovable', 'reciclable', 'sostenible' y 'biodegradable'. Esto subraya la necesidad de un nuevo tipo de materiales, cambiando los 'no renovables' o 'no degradables', por renovables o fácilmente degradables.

Todo esto aplicado al campo de los materiales compuestos, da lugar a la aparición de los 'Green Composites'. Estos composites tienen un origen natural o están formados por materiales altamente biodegradables o de origen renovable.

Siguiendo esta filosofía, se decide obtener un 'Green composite' formado por una matriz polimérica de Ácido Poliláctico (PLA) y reforzarla con una fibra natural obtenida del residuo de la planta de Posidonia, altamente presente en las costas mediterráneas.

## ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

Los biopolímeros están recibiendo una gran atención en la emergente química 'verde', ya que se pueden obtener de recurso naturales o se pueden degradar fácilmente en la naturaleza o bajo condiciones industriales. Dentro de estos biopolímeros se encuentra el Ácido Poliláctico (PLA).

El PLA es un biopolímero termoplástico utilizado ampliamente en la industria para la producción de hilo para sutura, implantes, cápsulas para la liberación lenta de fármacos, prótesis, producción de envases y empaques para alimentos y producción de películas para la protección de cultivos en estadios primarios. Este biopolímero ha despertado el interés de investigadores, productores y procesadores ya que fuera de su degradabilidad, se ha encontrado que puede ser un gran competidor frente a otros plásticos de origen petroquímico por su amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando los pesos moleculares, las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+) y la copolimerización.

Para el caso que nos afecta, nos interesa su alta biodegradabilidad. Esta se lleva a cabo por la colonización de microorganismos, como hongos y bacterias. Estos microorganismos son capaces de segregar enzimas que rompen en pequeños fragmentos el polímero. La colonización de la superficie depende de factores tales como la tensión superficial, porosidad y textura superficial y accesibilidad a las cadenas de polímeros.

## FIBRA DE POSIDONIA

Posidonia oceánica es una planta acuática, endémica del Mediterráneo, perteneciente a la familia Posidoniaceae. Ocupa un área de alrededor del 3% de la cuenca (lo que corresponde a un área de aproximadamente 38.000 km<sup>2</sup>), siendo por tanto una especie clave del ecosistema marino costero. Tiene características similares a las plantas terrestres, como raíces, tallo rizomatoso y hojas cintiformes de hasta un metro de largo dispuestas en matas de 6 a 7. Florece en otoño y produce en primavera frutos flotantes conocidos vulgarmente como olivas de mar. En las playas, sobre todo en invierno, se suelen encontrar "bolas" marrones de fibras de Posidonia formadas por el oleaje.

Forma praderas submarinas que tienen una notable importancia ecológica. Constituye la comunidad clímax del mar Mediterráneo y ejerce una considerable labor en la protección de la línea de costa de la erosión. Dentro de ellas viven muchos organismos animales y vegetales que encuentran en las praderas alimento y protección. Se la considera un buen bioindicador de la calidad de las aguas marinas costeras.

La Posidonia se viene utilizando desde hace unos veinte años como indicador biológico.

El análisis de la densidad de las matas es uno de los métodos de estudio de las praderas:

- Es una especie bentónica.
- Presenta un largo ciclo de vida.
- Está ampliamente extendida por todo el Mediterráneo.
- Tiene una gran capacidad de concentración de sustancias contaminantes en sus tejidos.
- Es muy sensible a los cambios ambientales.

En el pasado, las hojas se utilizaban como aislante en la construcción de techos, como cama para el ganado o para embalar materiales frágiles, de hecho se la llama "alga de vidrieros". En farmacología las hojas se usan para tratar la inflamación y la irritación. En algunas zonas del Mediterráneo aún se usan las hojas para la alimentación del ganado.

Las hojas de posidonia en las playas son consideradas residuos sólidos y, por tanto, deben eliminarse. Debido a esto, actualmente está siendo objeto de estudio por varias universidades de países mediterráneos para su posible uso en composites y otras aplicaciones como material biodegradable. Incluso se está analizando la posibilidad de utilizarla para la producción de biogás. Es por esto que se ha decidido utilizarla como fibra en el composite que se estudiará en este trabajo.

## DESARROLLO

### PROGRAMACIÓN DE LAS FASES DEL ESTUDIO

Para la realización de este estudio, se han programado diferentes fases, las cuales se pueden dividir en:

- Limpieza y tratamiento de las fibras de Posidonia previos al mezclado con el PLA en granza y los diferentes agentes de acoplamiento.
- Preparación de mezclas de PLA en granza con fibras de Posidonia en proporciones variables. También se preparan diferentes pre-mezclas con y sin agentes de acoplamiento.
- Extrusión y posterior triturado de las mezclas para obtener los diferentes Green Composites en granza.
- Obtención de probetas mediante una segunda extrusión.
- Caracterización mecánica de los materiales.

El objetivo de este estudio es generar Green Composites 100% BIO, es decir, formado con materiales de origen natural y residuo biodegradables, y conocer los efectos de agentes de acoplamiento entre la matriz polimérica de Ácido Poliláctico (PLA) y el refuerzo de fibra natural formado por Posidonia. También se estudiarán diferentes cargas de fibra para optimizar las propiedades mecánicas del material.

### MATERIALES Y ADITIVOS

Para realizar el estudio, se elaborarán composites utilizando los siguientes materiales:

#### MATRIZ

- Ácido poliláctico (PLA).

#### FIBRA

- Fibra proveniente del residuo de la planta de Posidonia (POS).

### AGENTES DE ACOPLAMIENTO

- DCP: Cumolhydroperoxid, tech 80% / ALDRICH CHEMISTRY  
Cat: 24.750-2 / Lot: STBB4701
- MA: Maleic anhydride, synthesis grade / SCHARLAU  
AN02500500 / 0130 BATCH11453501
- SI: Glyciril Silano

Con estos materiales se formarán 3 grupos de composites:

- Composites con PLA sin funcionalizar: Estos composites estarán formados por PLA y fibra de Posidonia sin añadir ningún agente de acoplamiento. Se

formarán 3 composites utilizando las proporciones en peso de fibra de posidonia en la mezcla previa del 2%, 5% y 10%.

- Composites con PLA funcionalizado con anhídrido maleico: Se prepararán 3 composites como los anteriores, pero en este caso se les añadirá a todos DCP al 0.5% y MA al 2%, ambos porcentajes equivalen al valor en peso de la mezcla el material.
- Composites con PLA funcionalizado con anhídrido maleico y Posidonia funcionalizada con Silano: Estos materiales se prepararán igual que los se han funcionalizado con anhídrido maleico, pero en este caso se funcionaliza previamente la fibra de Posidonia con Silano durante su proceso de limpieza.

## LIMPIEZA PREVIA Y MEZCLADO

Antes de realizar la mezcla de los materiales, se limpian y se preparan las fibras de Posidonia. Para ello, primero se trituran las bolas del residuo de Posidonia recogidas de la playa para separar las fibras. A continuación, se retiran los residuos más grandes y se lavan las fibras con agua para eliminar los residuos de tierra y otras impurezas. Seguidamente las fibras limpias permanecerán durante 24 horas en un baño de agua y sosa cáustica (Hidróxido de sodio NaOH). Este tratamiento con sosa favorecerá la interacción de los agentes de acoplamiento sobre la fibra. Finalmente se aclaran las fibras con agua, se escurren y se dejan secar en un horno a 60°C durante 24 horas.

Para los composites que deben llevar las fibras de Posidonia funcionalizadas con Silano, se dejan parte de las fibras tratadas con sosa cáustica en un baño con el 49.5% de agua, el 49.5% de acetona y un 1% de Silano, durante 2 horas. Después se aclaran las fibras con agua y se dejan secar las fibras al aire durante 3 días.

Cuando las fibras de posidonia están listas, se procede a mezclar los diferentes materiales manualmente dentro de bolsas. El peso total de cada mezcla será de 500g. Los porcentajes de MA y DCP serán del 2-5 y del 0.5% respectivamente para los composites funcionalizados. El porcentaje en peso de las fibras y los diferentes aditivos viene descrito en la tabla 1:

MATERIAL	PLA (g)	POS (g)	MA 2% (g)	DCP 0.5% (g)	SI
PLA+POS 2%	490.0	10.0	-	-	-
PLA+POS 5%	475.0	25.0	-	-	-
PLA+POS 10%	450.0	50.0	-	-	-
PLA+POS 2%+MA+DCP	477.5	10.0	10.0	2.5	-
PLA+POS 5%+MA+DCP	462.5	25.0			-
PLA+POS 10%+MA+DCP	437.5	50.0			-
PLA+POS 2%+MA+DCP+SI	477.5	10.0	10.0	2.5	*
PLA+POS 5%+MA+DCP+SI	462.5	25.0			
PLA+POS 10%+MA+DCP+SI	437.5	50.0			

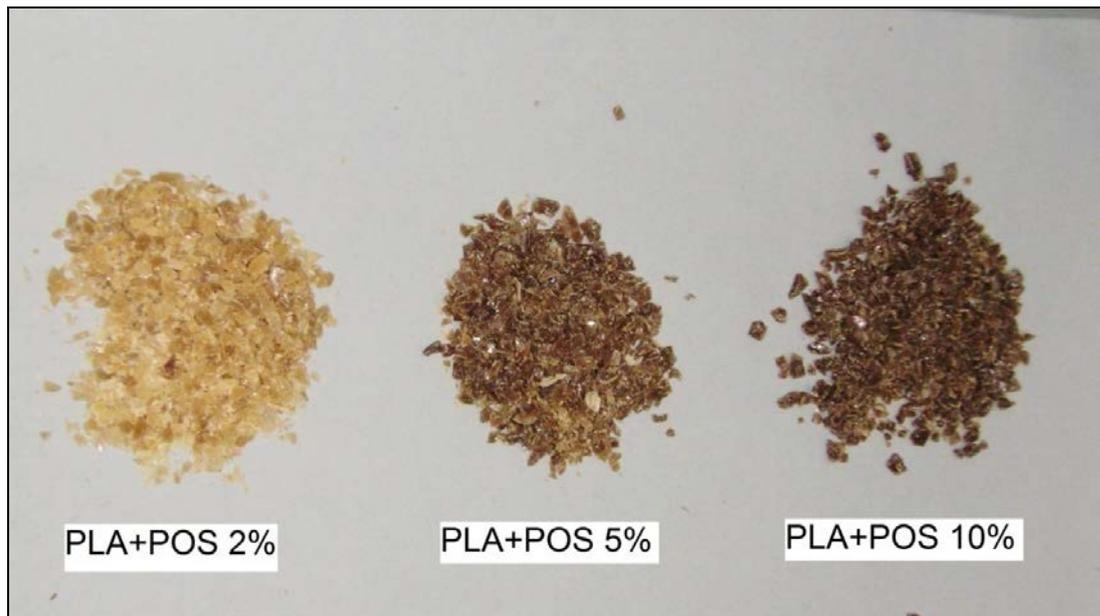
**Tabla 1.** Tensión de rotura frente a ciclos de reprocesado.

\* El tratamiento con silano se ha aplicado a la fibra durante el proceso de lavado.

## OBTENCIÓN DE PROBETAS

En primer lugar se extruyen las diferentes mezclas para obtener los composites en bruto y se dejan enfriar en seco. Los materiales con mayores proporciones de fibra de Posidonia se extruyen a velocidades menores.

Una vez frío, el material extruido se tritura para conseguir el composite en granza. En la Figura 1 se puede apreciar la diferencia cromática entre los materiales debido a las diferentes proporciones de fibra de Posidonia:



**Figura 1:** Varios composites en granza.

Una vez procesadas las mezclas para obtener los composites en granza, estos se vuelven a extruir sobre un molde para obtener probetas destinadas a la caracterización mecánica. Posteriormente estas probetas se limarán para eliminar los sobrantes en las probetas.


**Figura 2:** Probetas en el molde.

## CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Se preparan probetas suficientes para realizar ensayos de tracción, flexión, impacto (Charpy) y reblandecimiento (HDT/VICAT).

### ENSAYO DE TRACCIÓN

En las siguientes tablas, se observan los resultados obtenidos en el equipo del ensayo de tracción:

Célula 5kN

V = 5 mm/min

MATERIAL	Módulo de Young (MPa)			
	<i>Ensayo 1</i>	<i>Ensayo 2</i>	<i>Ensayo 3</i>	<i>Ensayo 4</i>
PLA_POS_2%	642,39	569,29	720,58	NO VALIDO
PLA_POS_5%	1718,00	937,20	1878,80	1532,80
PLA_POS_10%	789,69	1022,78	1167,80	1241,60
PLA_POS_MA_DCP_2%	1209,40	1016,24	1043,00	1217,30
PLA_POS_MA_DCP_5%	2779,30	1160,70	885,96	623,48
PLA_POS_MA_DCP_10%	994,34	482,02	864,41	865,47
PLA_POS_MA_DCP_SI_2%	1195,10	1069,42	1200,40	1093,00
PLA_POS_MA_DCP_SI_5%	623,62	669,67	479,26	1088,90
PLA_POS_MA_DCP_SI_10%	359,15	942,94	588,20	1123,60
PLA_VIRGEN	511,26	519,57	994,83	918,37

**Tabla 2:** Valores del Módulo de Young para ensayo de tracción

MATERIAL	Tensión máxima (MPa)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
PLA_POS_2%	6,218	5,934	4,970	NO VALIDO
PLA_POS_5%	24,430	3,240	29,850	17,790
PLA_POS_10%	12,420	16,837	7,709	6,218
PLA_POS_MA_DCP_2%	13,435	24,488	25,328	42,646
PLA_POS_MA_DCP_5%	27,120	40,613	27,701	20,875
PLA_POS_MA_DCP_10%	27,184	35,573	26,570	29,298
PLA_POS_MA_DCP_SI_2%	30,995	26,962	18,043	20,494
PLA_POS_MA_DCP_SI_5%	35,960	23,801	27,221	41,667
PLA_POS_MA_DCP_SI_10%	19,169	29,526	32,288	43,188
PLA_VIRGEN	20,887	37,210	39,788	40,672

**Tabla 3:** Valores de Tensión máxima para ensayo de tracción

## CONCLUSIONES

Este trabajo ha tenido como objetivo obtener Green Composites formados con una matriz de PLA y fibra de la planta de Posidonia y compararlos con las propiedades mecánicas del PLA virgen. Para ello se ha estudiado la influencia de los agentes de acoplamiento añadidos al composite y la influencia del porcentaje de fibra en el material.

Se pueden extraer las siguientes conclusiones de los ensayos de caracterización mecánica realizados durante este trabajo:

De los resultados obtenidos del ensayo se puede observar como los composites muestran en general, respecto a la tensión máxima, unos valores inferiores a los del PLA. Estos valores se aproximan a los esperados al inicio del proyecto.

Si se comparan los valores obtenidos entre los composites sin funcionalizar y los composites funcionalizados, se observa como los componentes funcionalizados muestran unos valores más estables y próximos a los del PLA. No hay una gran diferencia entre los composites funcionalizados también con Silano y los que llevan sólo MA y DCP.

Por otro lado, al comparar los resultados según la cantidad de fibra presente en el composite, se muestra como los resultados de los composites con menor cantidad de fibra de Posidonia (2%) son más estables que los de mayor cantidad.

## REFERENCIAS

- [1]. Charles A. Harper, Edward M. Petrie, *Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia*
- [2]. Kestur G. Satyanarayana, Gregorio G.C. Arizaga, Fernando Wypych, “Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview”, *Progress in Polymer Science* 34 (2009) 982–1021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.12.002>
- [3]. W. J. Groot and T. Boren, “Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand”, *Int J Life Cycle Asses* (2010) 15:970-984. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0225-y>
- [4]. Luz S. Arias Maya, Libardo Vanegas Useche, “Materiales compuestos inteligentes”, *Scientia et Technica Año X*, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701