

Trabajo Final de Máster



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

Máster Universitario en Ingeniería Textil

**SUSTITUCIÓN DE BALENAS Y
MATERIALES ESTRUCTURALES DE
CONFECCIÓN POR GREEN
COMPOSITES BASADOS EN
TECNOLOGÍAS TEXTILES**

Autor

Meritxell Pinyol Blasco

Tutor

Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Septiembre 2016

Contenido

RESUMEN	5
I. OBJETIVOS	7
1.1 Objetivo general	9
1.2 Objetivos específicos	9
II. INTRODUCCIÓN	11
2.1- Corsé y ballenas	13
2.1.1 Definición de corsé	13
2.1.2 Partes de un corsé	13
2.1.3 Primeras ballenas.....	13
2.1.4 Materiales utilizados actualmente	17
2.2- Material compuesto.....	19
2.2.1 Definición	19
2.2.2 Partes: elemento de refuerzo, matriz, interfase	19
2.2.3 Greencomposites.....	20
2.2.3.1 Fibras.....	22
2.2.3.2 Matrices biodegradables	27
2.2.3.3 Interacción fibra matriz	35
2.3- Ballenas y composites	39
III. EXPERIMENTAL.....	41
3.1 Efecto de tratamiento alcalino y con silanos en creación de green composites de bio polietileno con tejido de yute, lino y bambú	43
3.1.1 Resumen	43
3.1.2 Introducción.....	43
3.1.3 Tratamiento	45
3.1.4 Método	45
3.1.5 Resultados y discusión	47
3.2 Aplicación del diseño de experimentos (DoE) para la optimización de fibra-tratamiento para Green composites de bio polietileno.	54
3.2.1 Resumen	54
3.2.2 Introducción.....	54
3.2.3 Resultados por variables respuesta	56
3.2.4 Optimización y conclusiones.....	56

3.3 Mejora de prestaciones mecánicas de compuesto de bambú con tratamiento alcalino mediante la introducción de tejido de refuerzo de fibra de carbono y basalto, utilizando el software eLamX.....	59
3.3.1 Resumen	59
3.3.2 Introducción.....	59
3.3.3 Compuesto teórico mediante eLamX	60
3.3.4 Compuesto.....	62
3.3.5 Resultados y discusión.	63
3.4 Prototipo	67
IV. CONCLUSIONES	75
V. BIBLIOGRAFÍA.....	81
VI. APÉNDICES	91
Índice de tablas	93
Índice de gráficos	94
Índice de figuras	95

RESUMEN

Sustitución de ballenas y materiales estructurales de confección por Green Composites basados en tecnologías textiles

Los corsés son una prenda femenina que, poco a poco, van aumentando su popularidad, utilizándose, hoy en día, tanto como prenda interior como exterior.

Algunos de los elementos de refuerzo de los corsés, utilizados en la actualidad, como las ballenas, no son biodegradables ni reciclables.

Las ballenas también se utilizan como soportes estructurales en otras prendas, para dar forma y volumen y, normalmente, son de origen petroquímico o metálico y presentan un problema medioambiental.

En el siguiente trabajo se pretende reducir el impacto ambiental y buscar un sustituto de origen natural que pueda ser biodegradable y/o reciclable.

Para ello se investigan los materiales compuestos con elementos de refuerzo y matrices de origen natural denominados green composites.

Los green composites aparecen por la necesidad de acabar con el problema medioambiental que suponen los composites elaborados con materiales de origen petroquímico para separar sus componentes y reciclarlos.

El aumento de conciencia ecológica de los últimos años ha provocado un auge en las investigaciones en este campo, y es posible encontrar infinidad de estudios sobre combinaciones de fibras naturales con matrices de origen natural o que se logren biodegradar mediante aditivos, y la mejor forma de aumentar sus propiedades mediante tratamientos.

El proyecto hace una breve reseña de los materiales y las investigaciones en estos campos.

Una vez desarrollada la investigación previa, se realizan varios ensayos propios con algunos de los materiales investigados, para lograr encontrar el sustituto perfecto con las prestaciones mejores y más parecidas a las ballenas de poliamida.

La intención es encontrar un sustituto que se pueda comercializar y sustituir los materiales actuales, por ello se ensayan mecánicamente la ballenas de poliamida comercializadas.

Después de elegir para el estudio, las fibras de bambú, yute y lino y la matriz de origen natural de bio polietileno, se procede a realizar una batería de ensayos.

El primer ensayo busca encontrar la fibra-tratamiento adecuados, probando con una matriz de bio polietileno con tejidos de bambú, yute y lino y los tratamientos alcalino y agentes de acoplamiento silanos y creando compuestos por medio de la termocompresión. Se evalúan sus

propiedades mecánicas y las mejoras de la interacción mediante ensayos de tracción, observación en microscopio y medición de ángulos de contacto.

El segundo ensayo presenta un diseño de experimentos (DoE) utilizando el software Statgraphics Centurion donde se valoran los resultados obtenidos en el anterior estudio y se optimiza el tejido y tratamiento, que junto con la matriz de bio polietileno, mejor se adapte a los resultados obtenidos en las ballenas de poliamida.

El tercer y último ensayo pretende, después de analizar los resultados anteriores, mejorar las características obtenidas y lograr mayor parecido a las ballenas utilizadas, por lo que, mediante el uso de software específico para la creación de compuestos, eLamX, se crea un nuevo compuesto teórico añadiendo tejido de fibra de carbono y/o basalto.

Con el mejor material obtenido en el programa se crea el compuesto por termocompresión y se ensayan sus propiedades mecánicas de tracción y flexión.

En este último ensayo se pretende encontrar el compuesto definitivo que pueda sustituir las ballenas de origen petroquímico, para ello finalmente se realiza un prototipo de corsé donde se introducen las ballenas obtenidas en el tercer ensayo.

I. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

La demanda actual para reemplazar materiales de origen petroquímico por otros más respetuosos con el medioambiente lleva a plantearse la creación de nuevos materiales.

Las ballenas utilizadas en corsetería y como elementos estructurales en la confección son un ejemplo de materiales no biodegradables ni reciclables.

En el presente estudio se pretende encontrar un sustituto más ecológico a estos materiales plásticos y metálicos utilizados en la actualidad, para ello, se utilizarán técnicas textiles para elaborar compuestos de origen natural.

Primero se deberá investigar los productos comerciales actuales, para entender las necesidades físicas y mecánicas de un corsé y las nuevas formas de composites que aparecen constantemente.

- Concienciarse con el medio ambiente y adaptarse a los nuevos tiempos.
- Identificar necesidades a cubrir.
- Comparar y analizar ballenas actuales.
- Encontrar, proponer, formular soluciones más ecológicas.

1.2 Objetivos específicos

Los siguientes objetivos específicos servirán para conseguir el objetivo general:

- Reducir el impacto ambiental de los materiales utilizados en la actualidad,
- Investigar los green composites, su composición, creación y encontrar los materiales más adecuados para nuestros objetivos.
- Analizar varios tipos de fibra y mejorar sus prestaciones mecánicas con tratamientos que mejoren la interacción de fibra-matriz.
- Utilizar nuevos materiales de origen natural en desarrollo como el bio polietileno de caña de azúcar o el tejido de bambú.
- Desarrollar y caracterizar green composites.
- Mejorar el diseño de materiales compuestos mediante Diseño de Experimentos (DOE).
- Analizar mediante software específico nuevos compuestos.
- Finalmente se quiere utilizar el composite en un prototipo de corsé para analizar la funcionalidad de las ballenas creadas.

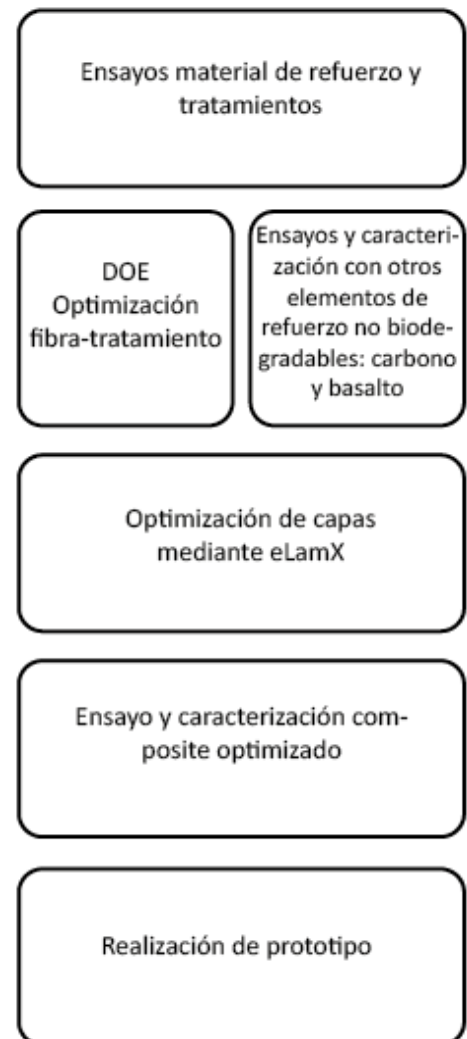


Figura 1. Esquema de los pasos a seguir en los ensayos

II. INTRODUCCIÓN

2.1- Corsé y ballenas

2.1.1 Definición de corsé

El corsé es una prenda superior femenina, en un principio nació como prenda interior y fue parte esencial del vestuario femenino durante 400 años ¹. A principios del sXIX cayó en desuso, por su simbolismo relacionado con la opresión de la mujer, pero en los últimos años ha sido relanzado por muchos diseñadores, esta vez como prenda interior y exterior.

2.1.2 Partes de un corsé

Las partes más importantes de un corsé son:

1. El tejido con el que está elaborado
2. Accesorios que pueden aportar rigidez a la prenda. Dentro de estos podemos encontrar actualmente :
 - tejidos de refuerzo, lonetas, entretelas etc.
 - ballenas
 - cierres

Este estudio se centrará en las ballenas: Reciben este nombre (whale bone) por que en sus inicios se hacían con las fibras de las barbas de determinados tipos de cetáceos.

Una ballena en general necesita ser un material muy flexible y resistente, a poder ser que podamos cortar para ajustar a la medida deseada o que se pueda suministrar en varios largos.

2.1.3 Primeras ballenas

El nombre de la pieza, como ya se ha mencionado, viene de la procedencia de éstas. Fueron las primeras en utilizarse y actualmente muy difícil de encontrar ya que desde 1986 está prohibida la caza de ballenas.² ¿Cómo eran realmente las antiguas barbas de ballena?

1 (Steele)

2 A partir del sX las ballenas fueron cazadas indiscriminadamente para múltiples usos, desde las barbas para los corsés, jabones, curtidos de cuero , etc, hasta lograr disminuir drásticamente la población. A partir de la 2ªGM s con la aparición de nuevos materiales sustitutivos como la parafina y los plásticos, la ballena dejó de ser tan utilizada para la producción. En 1948 fue creada la Comisión Ballenera Internacional (CBI) y entre 1984 y 1986 entró en vigor la prohibición mundial de la caza de ballenas. (Gutiérrez)

Barba de ballena (baleen bristle)

Las llamadas vulgarmente "barbas de la ballena" (*whale bone*, en inglés) son un conjunto de láminas que podemos encontrar en la boca de estos cetáceos en lugar de los dientes. En el Semanario Pintoresco las describe y explica su obtención. También nos dice que se componen de fibras longitudinales, muy elásticas, flexibles, de una resistencia incorruptible y de una duración ilimitada.



Figura 2. Barba de ballena en su estado natural

Aunque se las conozca como *whale bone* realmente no son huesos y se componen mayoritariamente de queratina.

Se utilizaron para hacer desde cajas hasta armazones de paraguas y sombrillas, como para armar los corsés³.

Se podían cortar y limar fácilmente para redondear los bordes y no agujerear la tela.

"Solo la barba de ballena reúne la solidez conveniente y la perfecta ligereza y elasticidad que debe tener el armazón de un paraguas para tomar prontamente la encorvadura necesaria al abrirse y volver inmediatamente a la dirección rectilínea al cerrarse"⁴ Lo cual explica porque era un material ideal para los corsés.

Los tamaños, formas y texturas varían según la especie de ballena.

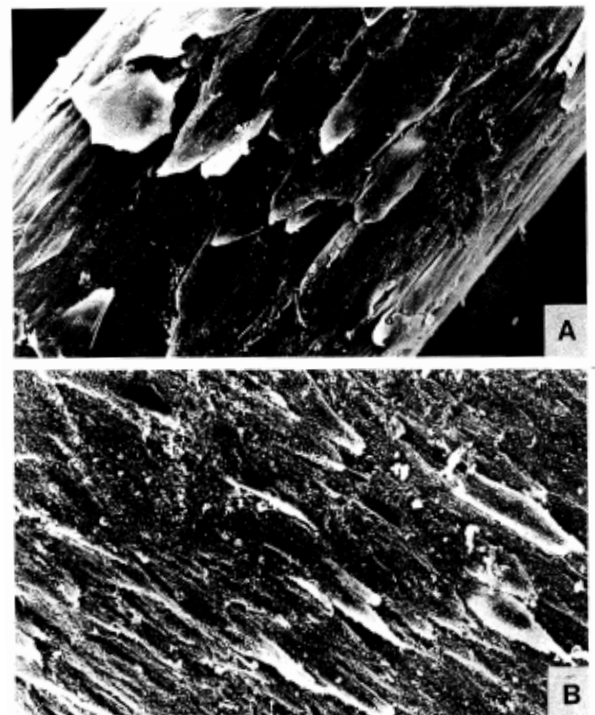


Figura 3. Barba de ballena vista en microscopio

A lo largo de los años aparecieron otros tipos de ballenas como las de acero planas, que han ido evolucionando a las ballenas de acero espiral, unas de las más utilizadas hoy en día junto con las de poliamida. También se puede encontrar alguna referencia a las ballenas de caña utilizadas desde el S XVI⁵ aunque no se habla ni de su resistencia ni de la elasticidad.

3 (Uso de las barbas de ballena, 1838)

4 (Uso de las barbas de ballena, 1838)

5 Ballena plana por un lado y redondeada por su otra cara. Es ligero y permite pasar el aire a través del corsé mientras se lleva y es confortable. (Corset Making)

Coraline - Fibra de Ixtle o Ágave

A finales del s XIX aparecen anuncios de un corsé con "coraline" anunciado como corsé saludable.

Lo que denominaron "coraline" son ballenas hechas de fibras de la planta de Ixtle⁶⁷, también llamada maguay o agave en algunos lugares porque proviene de una variedad de esta planta, o lechuguilla⁸ (variedad del agave). Esta planta es originaria de México, donde constituye parte de su economía⁹.

Se ha utilizado en cepillos de pulir metal, muebles, relleno de asientos de coche, cepillos de limpiar¹⁰, como material de construcción en combinación con resinas¹¹ y recientemente también se utiliza para refuerzo de hormigón.¹²

De las últimas aplicaciones podemos encontrar muchos artículos con las propiedades que adquiere al elaborar materiales compuestos, por ejemplo utilización de agave con poliestireno para bajar la densidad de las espumas¹³, o las características de una resina epoxi reforzada con agave¹⁴, o las propiedades mecánicas de compuestos reforzados con fibras naturales¹⁵.

Otra fibra procedente del agave pero más conocida es el sisal, por lo que deducimos que las características serán bastante parecidas.

Podría ser la mejor solución actualmente para sustituir las antiguas barbas de ballena

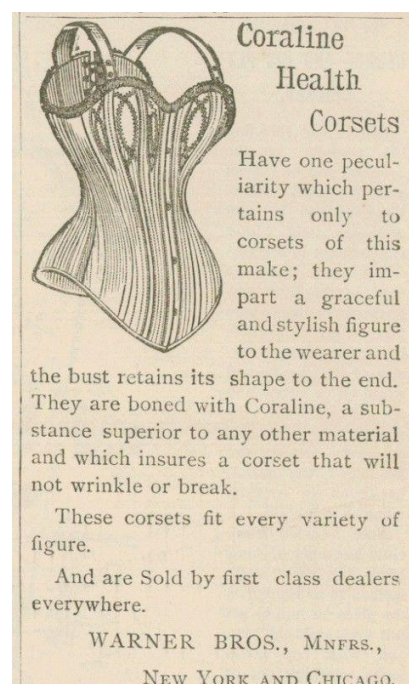


Figura 4. Anuncio de Warner Bros de corsés de coraline a finales del s.XIX

6 (Snodgrass, 2015)

7 (DeSantis & Bice)

8 (Pando-Moreno, Pulido, Castillo, Jurado, & Jiménez, 2008)

9 (Pando-Moreno, Pulido, Castillo, Jurado, & Jiménez, 2008)

10 (Berlangu, García, & González, 1992)

11 (Belmares, Barrera, Castillo, Monjaras, & Tistan, 1979)

12 (Juárez, Rodríguez, Rivera, & de los Ángeles Rechy, 2004)

13 (Moscoso, Martínez, Canche, Rodigue, & González-Núñez)

14 (Mylsamy & Rajendran, 2011)

15 (Herrera-Franco & Valadez-González, 2004)

Sustitución de ballenas y materiales estructurales de confección por Green Composites basados en tecnologías textiles

TIPO DE BALLENAS / PROPIEDADES (Corset Making)	Metálicas			Sintéticas		
	Planas recubiertas	Recubierto y circular	Espiral	Plástico	Rigilene	
IMAGEN						
Material	De acero plano con carbono recubierta de nylon	De acero al carbono recubierto.	Muelle de acero galvanizado	Plástico extruido.	Ballena de poliéster*	
Especificaciones	El recubrimiento evita la oxidación y es altamente resistente a los productos de lavado y otros fluidos. Terminaciones sumergidas en plástico blanco.	Parecidos al primero pero más rígido. El lacing bone presenta perforaciones para poner ojetes.	Alambre redondo endurecido, presentado en forma de muelle. Terminaciones con puntas redondeadas de níquel en los extremos	Diseñado para soporte flexible y que impida el enrollado de algunos tejidos.		
Tamaños	1/2" ancho - 0,14" espesor 1/4" (6mm) - 0,10" / Extra wide: 1" de ancho	1/2" ancho - 0,5" de espesor	1/2" - 0,14" 1/4" (6mm) - 0,10" Pre cortado o en rollos continuos	1/2" - 0,45" 1/4" (6mm) - 0,80" Pre cortado o en rollos continuos	12 y 8 mm de ancho	
Ventajas	Fuerte y rígido	Muy fuerte y rígido.	Mantiene su forma circular cuando se cose en las faldas.	Plástico muy duradero y resistente a los detergentes y fluidos.	Bordes suaves, fácil de coser a mano o a máquina. Flexible, durable y no se rompe.	
Desventajas	No se puede coser. Tiende a retorcerse dentro de la carcasa.	No se puede coser.	En corsés mantiene su forma curva aunque se use durante largo tiempo.	Muy flexible. No se puede utilizar en "waist training" o de reducción. No se puede coser. Se deforma fácilmente y ante un esfuerzo constante acaba rompiendo.	Es un apoyo muy ligero.	
Flexibilidad	Moderada. Una dirección / muy poca. Una dirección	Muy poca. Una dirección	Moderada. Una dirección	Alta. Una dirección	Muy alta. Una dirección	
Uso	Ballenas de corsés e indumentaria / Refuerzo de busk y soporte fuerte en indumentaria	Refuerzo de busk y soporte fuerte en indumentaria / refuerzo parte trasera o donde tienen que ir ojetes.	Dar forma redondeada a las faldas	Cualquier prenda que necesite un apoyo o darle cuerpo.	Cualquier prenda que necesite un apoyo o darle cuerpo, en ropa de teatro, de fiesta, bañadores e incluso juguetes blandos.	
Lavado	Recomendado seco	Recomendado seco.	Recomendado seco	A máquina o a mano	En seco o a mano, no pierde rigidez	
Remate	No necesario	No necesario	Puntas de 1/2" metálicas.	No necesario	Puntas de rigilene de 1/2" o 1/4". Se encuentra en negro y blanco.	

Tabla 1. Resumen de las ballenas comercializadas en la actualidad con su presentación, ventajas y desventajas. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Corset Making)

2.1.4 Materiales utilizados actualmente

La Tabla 1 en la página anterior muestra un cuadro resumen de los materiales que se comercializan en la actualidad.

Metales

Actualmente se utilizan como planchas de acero planas o en espiral, pero podríamos intentar utilizarlas como fibras en materiales compuestos

"Fibras metálicas, tienen la desventaja de su densidad y coste, pues salvo el acero, son todas más caras que la fibra de vidrio. Pueden obtenerse mediante técnicas diferentes como el laminado trefilado o proyección del líquido. Se aplican generalmente con matrices metálicas, podemos encontrar los aceros inoxidable que se utilizan

Poliamida - Nylon

Al igual que los metales no se utiliza como fibra para fabricar las ballenas sino como plástico fundido. El nylon es un polímero del grupo de las poliamidas.

Es una fibra textil elástica y resistente. Inicialmente muestra una recuperación rápida que ocurre pocos minutos luego del cese de la carga. Comparado con otras fibras, el hilado de nylon tiene un notable grado de elasticidad y recuperación frente a altas cargas y extensiones.¹⁶

Tanto como fibra como plástico, el nylon 66, se caracteriza por la combinación de elevada resistencia, elasticidad, tenacidad y resistencia a la abrasión. Las buenas propiedades mecánicas se conservan hasta los 150°C, aunque el límite más adecuado para las utilidades como plástico es 125°C. A bajas temperaturas conserva bien la tenacidad y la flexibilidad.¹⁷

16 (Hidalgo Maestro)

17 (Billmeyer, 2004)

Rigilene - Poliéster

Hay que hacer mención aparte sobre el *Rigilene*, la única ballena tejida de la actualidad creada a partir de fibras de poliéster.

Rigilene se trata de una marca registrada y es difícil encontrar información sobre esta, excepto en las páginas de venta de artículos para la confección.

Según distintas casas comerciales proviene del poliéster, la patente lo describe como: "cinta textil, rígida y de apoyo, de la naturaleza de ballena de poliéster"¹⁸

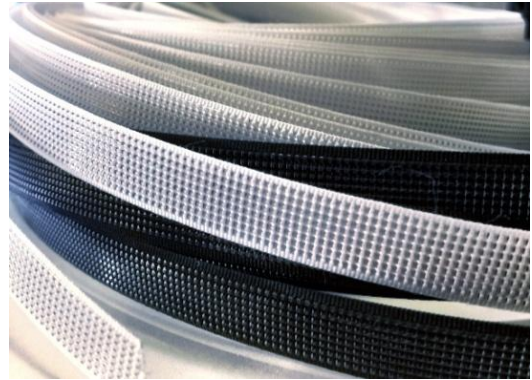


Figura 5. Ballena de Rigilene.

Rigilene es una marca registrada utilizada por primera vez en 1964. Actualmente propiedad de Selectus Limited pero existe otra patente de la marca a nombre The British Petroleum Company PLC. (1988) actualmente ya caducada.

La fibra de poliéster en la actualidad es una de las fibras más utilizadas. Al igual que la poliamida, tiene una alta elasticidad, gran estabilidad y forma consistente, tiene buena resiliencia y una tenacidad alta entre 23-80 cN/tex, además existen poliésteres de alta tenacidad.

En este proyecto se pretende buscar una solución natural para sustituir los materiales que se utilizan en la actualidad, por lo que se estudiarán los green composites como posible sustitutivo.

18 (Selectus Limited, 1987)

2.2- Material compuesto

2.2.1 Definición

Un material compuesto es la combinación de varios componentes, llamados elemento de refuerzo y matriz, cuyas propiedades finales mejoran (efecto sinérgico) las propiedades de los componentes por separado.

El material compuesto obtenido tendrá unas propiedades intermedias entre ambos elementos.

Para poder considerar un material como compuesto debe ser fabricado por el hombre y no deben encontrarse en este estado en la naturaleza, se debe poder distinguir físicamente y ser separables y debe mejorar alguna de las propiedades de los componentes.

2.2.2 Partes: elemento de refuerzo, matriz, interfase

El **elemento de refuerzo** o la fase dispersa, es la encargada de proporcionar las propiedades mecánicas al material compuesto. Las fibras más utilizadas actualmente son la de vidrio y carbono, que presentan buenas propiedades mecánicas, pero tienen dificultades para ser procesadas.

Se pueden utilizar como fibra, fibra molida, tejidos, hilos etc, según el proceso de fabricación y la aplicación final del producto.

La **matriz** se encarga de actuar como soporte, permite moldear y proporciona resistencia térmica y ambiental. Además soporta esfuerzos y los transmite, evita la propagación de grietas y mantiene las fibras alineadas.

El comportamiento mecánico dependerá de la buena unión que haya entre la fibra y la matriz, por lo que debe ser óptima. A esto se le llama **interfase**.

La interfase representa el grado de unión entre la fibra y la resina, para ello es necesario una interacción mecánica mediante la rugosidad superficial, que impida el desplazamiento entre fibra y matriz, que se puede mejorar mediante tratamientos que hagan más rugosa la fibra.

Y también una interacción química; la posible afinidad química que puede haber entre la fibra y la matriz hace que la adherencia sea buena y forme enlaces. A veces son necesarios materiales que hagan de puente químico y agarren de alguna forma la fibra y la matriz

Más adelante se verán métodos utilizados para mejorar la interacción y aumentar las propiedades de los compuestos.

2.2.3 Greencomposites

En los últimos años se ha producido un aumento en investigación y producción de composites, pero presentan un grave problema de reciclabilidad. Al tratarse de materiales compuestos por diferentes componentes, resulta difícil la reutilización y el reciclado, además, la mayoría de polímeros utilizados provienen del petróleo, lo que conlleva un gran impacto ambiental.¹⁹

El problema medioambiental afecta a todo el mundo (Figura 6), la huella ecológica de los productos producidos superan a la biocapacidad del territorio (habilidad de un ecosistema para producir materiales biológicos útiles y para absorber desechos generados por humanos.)²⁰

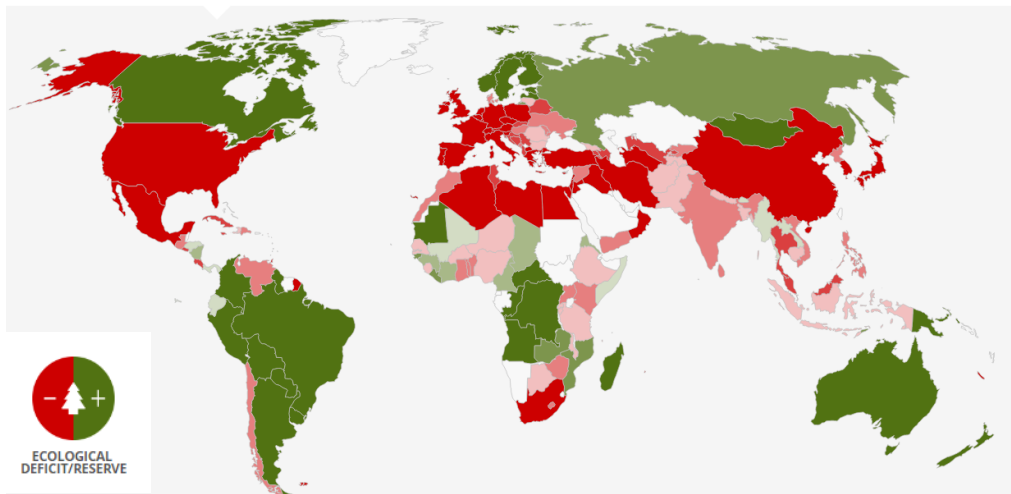


Figura 6. Déficit/reserva ecológica mundial

Vemos como en España (Figura 7) la huella ecológica supera con creces la capacidad de crear materiales ecológicos y absorber desechos humanos.

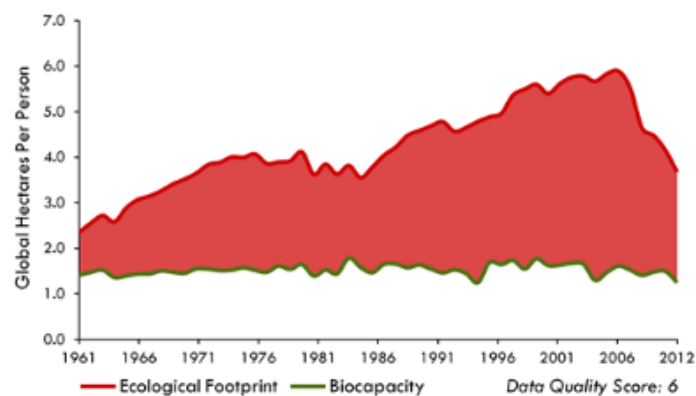


Figura 7. Huella ecológica y Biocapacidad en España.

19 (La Mantia & Monreale, 2011)

20 (Foot Print Network)

Una encuesta del CIS (2007) refleja el aumento de la conciencia ecológica en los últimos años (Gráfico 1) entre la población española.

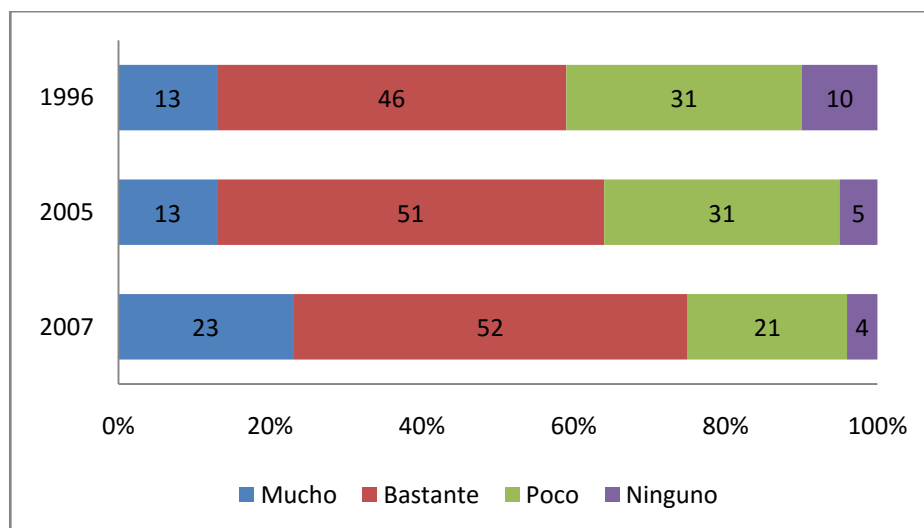


Gráfico 1. Resultados encuesta del CIS a la pregunta: Grado de interés con el que sigue noticias relacionadas con el medio ambiente. (Fuente: CIS)

Es evidente que se necesita un cambio, la necesidad de reducir los residuos y la conciencia ecológica ha llevado la investigación científica a buscar alternativas a los composites tradicionales por unos con menor impacto ambiental.²¹

En esta línea vemos un aumento en patentes sobre composites de origen natural o biodegradables de los últimos años (Gráfico 2. Evolución número de patentes relacionadas con los greencomposites. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Patentscope) Gráfico 2). A fecha de 7-06-2016 se encuentran ya publicadas 61 patentes para este año.

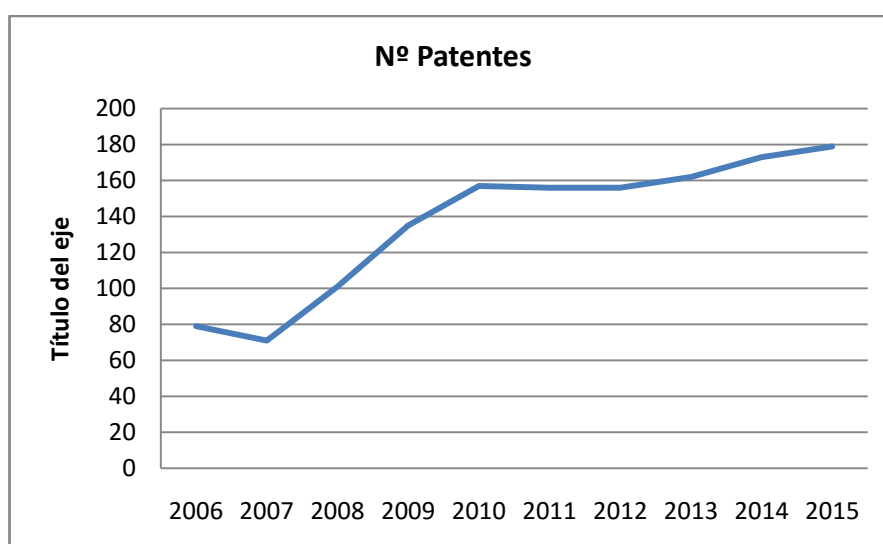


Gráfico 2. Evolución número de patentes relacionadas con los greencomposites. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Patentscope)

21 (La Mantia & Monreale, 2011)

2.2.3.1 Fibras

En los primeros intentos de producir greencomposites el proceso más utilizado ha sido sustituir el elemento de refuerzo por fibras naturales orgánicas, sobre todo las de origen vegetal, que son en las que se centrará el presente trabajo, en la Tabla 2 podemos ver algunas junto con su producción mundial.

Las fibras vegetales, químicamente, se componen en gran parte de celulosa, pero también presentan otros componentes como la hemicelulosa, lignina y cera. La proporción que presenten de cada uno, junto con la longitud que tenga la fibra, serán decisivos en las propiedades que presentará a fibra. En la Tabla 3 se observa dicha composición.

Fibra	Producción mundial (10 ³ toneladas)
Bagazo de caña de azúcar	75.000
Bambú	30.000
Yute	2300
Kenaf	970
Lino	830
Sisal	378
Cáñamo	214
Fibra de coco	100
Ramio	100
Abacá	70
Plátano	
Aceite de palma	
Yute	
Algodón	
Palmera datilera	
Henequén	
Istle	
Kapoc	
Ortiga	
Piña	
Hibisco	
Paja (cereales)	
Madera	
Cascara de arroz	

Tabla 2. Lista de las biofibras más importantes y su producción mundial anual. Fuentes: (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012) y (Jacob John & Thomas, 2008)

Fibra	Celulosa (% en peso)	La hemicelulosa (% en peso)	La lignina (% en peso)	Ceras (% en peso)
Bagazo	55.2	16.8	25.3	-
Bambú	26-43	30	21-31	-
Lino	71	18,6-20,6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Yute	61-71	14-20	12-13	0,5
Cáñamo	68	15	10	0,8
Ramio	68,6-76,2	13-16	0.6-0.7	0,3
Abacá	56-63	20-25	7-9	3
Sisal	65	12	9.9	2
Fibra de coco	32-43	0,15-0,25	40-45	-
Aceite de palma	65	-	29	-
Piña	81	-	12.7	-
Paja de trigo	38-45	15-31	12-20	-
Cáscara de arroz	35-45	19-25	20	14-17
Paja de arroz	41-57	33	8-19	8-38

Tabla 3. Composición química de algunas fibras naturales comunes. (Fuente: Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

Las fibras lignocelulósicas despiertan gran interés por su producción económica, pocas necesidades de equipo y bajo peso específico, que deriva en una resistencia y rigidez específica más alta en comparación con los materiales compuestos reforzados con vidrio. También presentan un manejo más seguro y barato. Además tienen un impacto ambiental positivo.²² . Este tipo de fibras poseen una elevada resistencia eléctrica y los huecos que tienen en la estructura celular proporcionan buenas propiedades de aislamiento acústico.

Presentan problemas por su naturaleza polar e hidrófila, que conducen a una dispersión no uniforme dentro de la matriz que podría afectar a las propiedades del compuesto.

Otro problema es que la temperatura de procesamiento de materiales compuestos se limita a 200 ° C y pueden sufrir degradación, por lo que es importante una buena elección de la matriz. También tienen poca estabilidad dimensional y poca resistencia microbiana.

Aún así las ventajas superan a las desventajas y estas últimas se pueden remediar mediante tratamientos químicos.

Fibra	Resistencia a la tracción (MPa)	El módulo de Young (GPa)	Alargamiento a la rotura (%)	Densidad [g / cm ³]
Abacá	400	12	3-10	1.5
Bagazo	290	17	-	1.25
Bambú	140-230	11-17	-	0,6-1,1
Lino	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Cáñamo	690	70	1.6	1.48
Yute	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-
Sisal	511-635	9,4-22	2,0-2,5	1.5
Ramio	560	24.5	2.5	1.5
Aceite de palma	248	3.2	25	0,7-1,55
Piña	400-627	1.44	14.5	0,8-1,6
Fibra de coco	175	4-6	30	1.2
Curauá	500-1150	11.8	03.07 a 04.03	1.4

Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas de las fibras naturales. Fuente:(Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, (2012)

El **lino** es uno de los cultivos más antiguos, es muy utilizado en el textil y la planta tiene un rápido crecimiento. Hoy en día se usa ampliamente en el área de materiales compuestos.

Las propiedades mecánicas dependen del tamaño de la fibra y de la localización dentro del tallo.

Se han realizado estudios de diferentes tratamientos en lino, Bledzky²³ investiga las propiedades mecánicas de varios compuestos con PP utilizando agentes de acoplamiento y acetilación, otros como Zhang et al. (2015) y Karsli et al. (2014) prueban el tratamiento alcalino en compuestos con PLA.

22 (Jacob John & Thomas, 2008)

23 (Bledzki A. , Mamun, Lucka-Gabor, & Gutowski, 2008) (Bledzki, Fink, & Specht, 2004)

El **cáñamo** ha sido muy utilizado en cordelería por sus buenas prestaciones mecánicas. Al igual que el lino, es una planta que crece relativamente rápido y su cultivo está subvencionado por la unión europea²⁴.

Oza et al. (2014) investigaron el efecto de la modificación química, silanos, alcalinización y acetilación, en las características de degradación térmica de los materiales compuestos de cáñamo-PLA. Masirek et al. (2006) investigan la propiedades de composites de cáñamo y PLA.

El **yute** es una de las fibras naturales más baratas y actualmente es la fibra de estopa con el volumen de producción más alto²⁵. Bangladesh, la India y China proporcionan las mejores condiciones para el crecimiento de yute.

Ray et al. (2001) investigan las propiedades del yute alcalinizado en composites con resina de éster de vinilo, el tratamiento elimina la hemicelulosa y mejora la cristalinidad. Rajesh y Ratna (2014) mejoran las propiedades mecánicas al utilizar el tratamiento alcalino en compuestos con PLA.

El **sisal** es una variedad de ágave, se utiliza para fabricar cuerdas. A pesar de que su demanda ha disminuido en los últimos años por su sustitución por fibras sintéticas, en el campo de los compuestos va en aumento.

Ramzy et al. (2014) estudian los compuestos de sisal para nuevas aplicaciones técnicas en la industria del automóvil.

La fibra de **abacá** proviene de una planta cercana del plátano, es duradera y resistente al agua de mar. El abacá, tiene las fibras más fuertes que las otras fibras de celulosa disponibles comercialmente, se ha utilizado para cuerdas de aplicaciones marinas.

Mercedes Benz ha utilizado las fibras de abacá con matriz de PP para sustituir partes de sus automóviles, recibiendo diversos premios por ello como el SPE Automotive en 2005.²⁶

El mismo compuesto ha sido estudiado por Bledzki et al. en múltiples ocasiones²⁷ para ver la influencia de las diferentes longitudes de fibra y como afecta el tratamiento enzimático.

La **piña** es una planta tropical, de su hoja se pueden obtener fibras (PALF) ricas en celulosa, relativamente baratas y disponibles en abundancia, ya que es un desecho del cultivo de la piña.

24 (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

25 (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

26 (Anandjiwala, Hunter, Kozlowski, & Zaikov, 2007)

27 (Bledzki A. , Mamun, Jaskiewicz, & Erdmann, 2010), (Bledzki, Mamun, & Faruk, 2007), (Bledzki, Mamun, & Faruk, 2008)

Como refuerzo de polímeros tiene un gran potencial por su alta resistencia y rigidez específica. Con ella se han probado compuestos con poliéster²⁸, de PLA con distintas concentraciones de fibra²⁹, o con distintos tratamientos como silanos³⁰, bencilación y alcalinización³¹ para mejorar su calidad.

El **ramio** no ha sido muy popular como textil por las pocas zonas de producción y por tener una composición química que requiere más tratamientos que otras fibras más utilizadas.

Es interesante su utilización en compuestos de Epoxy³² obteniendo paneles a prueba de balas más ligeros y económicos que los convencionales de kevlar. Los resultados mostraron que podían resistir la penetración de un proyectil de alto impacto (nivel II) con fracturas mínimas, aunque las pruebas de nivel IV determinaron que no podían resistir la velocidad de impacto del proyectil.

Las fibras de cáscaras de **coco** se localizan entre la cáscara y la capa exterior del coco. Se calcula que actualmente se utiliza aproximadamente el 10% de las cáscaras para satisfacer la demanda creciente de productos de fibra.³³

Las propiedades térmicas y mecánicas de fibra de coco con PLA y PBS y sus mejoras con tratamiento de plasma han sido estudiadas por Sriburi et al. (2006) y Jang et al. (2012). También el efecto de la acetificación.³⁴

El **bambú** es una planta perenne con un alto crecimiento, puede crecer hasta 20 cm al día en las condiciones adecuadas y llegar hasta los 40 m de altura, por lo que es una buena opción para sustituir materiales convencionales. Se utiliza en construcción y carpintería, además de hacen cortinas con su fibra ya que tiene la capacidad de absorber la radiación UV en varias longitudes de onda.³⁵

EL bambú presenta buenas propiedades mecánicas por la alineación de sus fibras, pero con el método de obtención tradicional se extraen fibras con bajas propiedades, Okubo et al. (2004) investigan un método del que la fibra resultante tendrá un modulo específico equivalente al de la fibra de vidrio.³⁶

28 (Mishra, Mishra, Tripathy, Nayak, & Mohanty, 2001)

29 (Kaewpirom & Worrarat, 2014)

30 (Pratumshat, Soison, & Ross, 2015)

31 (Lopattananon, Panawarankul, Sahakaro, & Ellis, 2006)

32 (Marsyahyo, Jamasri, Rochardjo, & Soekrisno, 2009) c.p. (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

33 (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

34 (Santafé Jr., Da Costa, Rodriguez, Lopes, & Monteiro, 2010)

35 (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

36 (Okubo, Fujii, & Yamamoto, 2004)

La planta del **kenaf** tiene un aspecto parecido al bambú, muestra buen potencial para producir compuestos y además su cultivo consume más CO² que una planta normal por lo que su plantación es beneficiosa.

En la revisión de Akil et al. (2011) se muestran gran parte de las investigaciones de composites con kenaf de los últimos años.

Se pueden obtener fibras de las cáscaras de cereales, la **cáscara de arroz** es solo un ejemplo. También se investiga hacer compuestos de trigo, maíz, centeno, avena y otros cereales.

Yussuf et al. (2010) comparó las propiedades de compuestos kenaf/PLA y las de la cáscara de arroz/PLA³⁷, Nascimento et al. (2010) investigaron el efecto de diferentes concentraciones y tamaños de partículas de cascara de arroz en las propiedades mecánicas de composites con pp³⁸.

El **bagazo** es el residuo fibroso que queda tras triturar la caña de azúcar para extraer su jugo. Es un subproducto de los deshechos. Actualmente se utiliza como una fibra natural renovable para la fabricación de materiales compuestos.

Wang et al. (2013)³⁹ experimentaron las diferencias del bagazo recogido en diferentes etapas del proceso y usando de matriz PLA, mejorando la interfase con un agente de acoplamiento DVSK, mezclado antes de introducir en la extrusora. Una revisión de 2013⁴⁰ recoge los resultados más importantes de los últimos años.

37 (Yussuf, Massoumi, & Hassan, 2010)

38 (Nascimento, y otros, 2010)

39 (Wang, Tong, Ingram, Cheng, & Matthews, 2013)

40 (Loh, Sujana, Rahman, & Das, 2013)

2.2.3.2 Matrices biodegradables

Los polímeros, también llamados plásticos, utilizados como matrices en los composites se pueden clasificar como muestra el siguiente esquema (Figura 8)

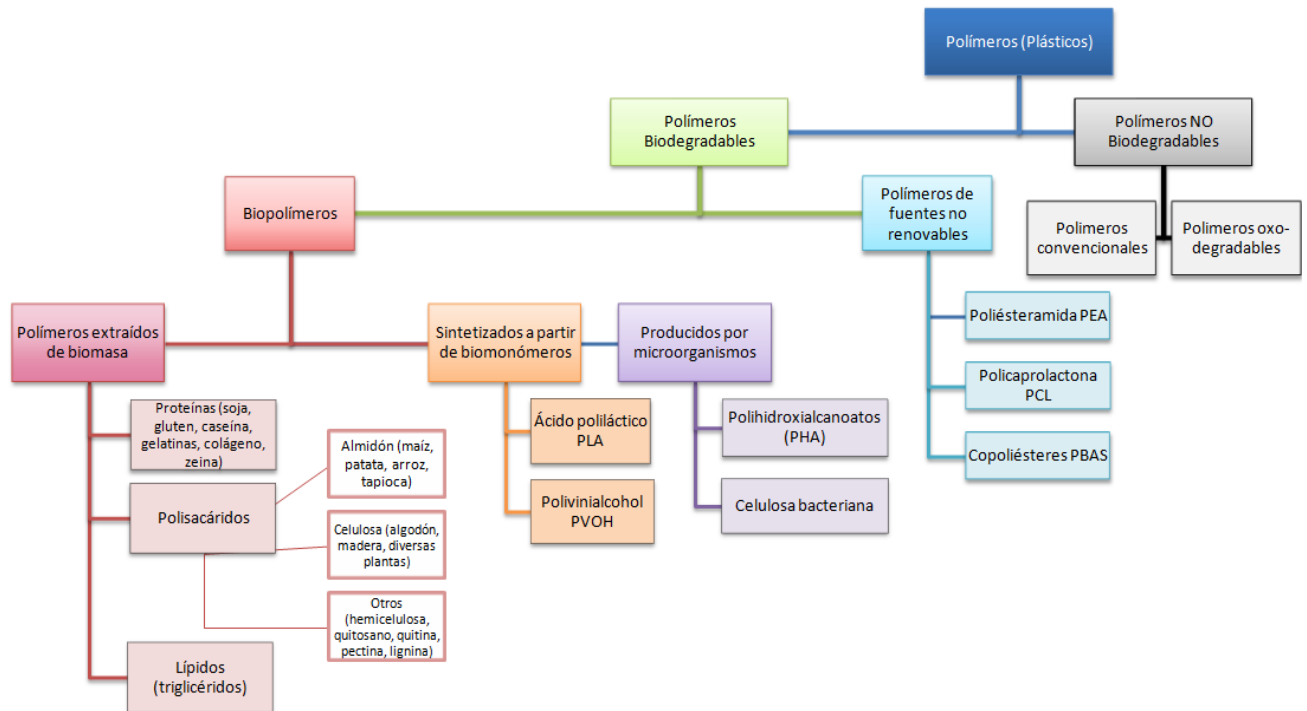


Figura 8. Esquema de clasificación de los polímeros.

Según Segura et al. (2014) se conoce como plásticos "ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos. En general, son derivados del petróleo, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales."

Entre sus propiedades se encuentra la resistencia a la corrosión y la intemperie, por lo que producen residuos difíciles de eliminar.

Debido a esto, al aumento de la conciencia ecológica y a la necesidad de encontrar sustitutos del petróleo, vemos que el número de publicaciones científicas sobre polímeros biodegradables han ido en aumento en los últimos años, a pesar de que el siguiente gráfico extraído del análisis de la Web of Knowledge (Gráfico 3), sólo nos muestra la evolución hasta 2007 (año en que AIMPLAS realizó el estudio) nos muestra la tendencia de crecimiento progresivo y como se mantiene un nivel de investigación ascendente.⁴¹

41 (Estrada, 2008)

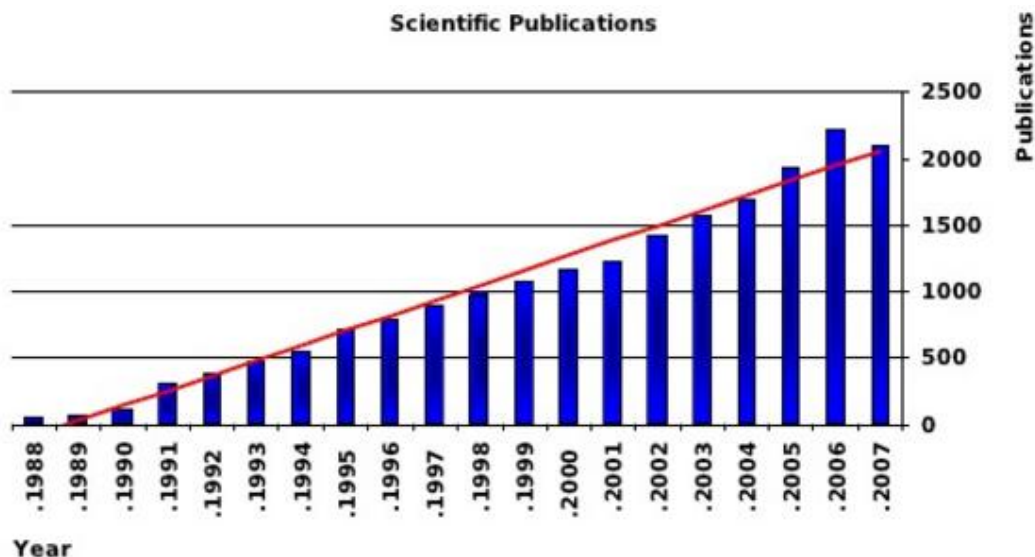


Gráfico 3. Evolución publicaciones científicas (Fuente: AIMPLAS)⁴²

En los siguientes años vemos que no solo los artículos e investigaciones mantienen este crecimiento, también su producción.⁴³

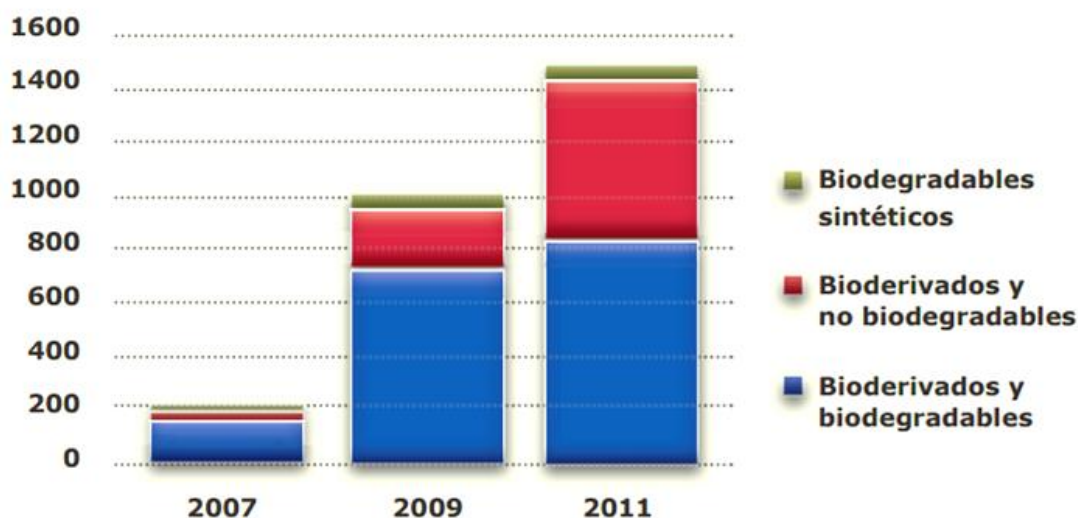


Gráfico 4. Producción anual de bioplásticos (Fuente: ANAIP)⁴⁴

El aumento de la conciencia ecológica, que pide soluciones sostenibles, llevará a una progresiva sustitución de polímeros basados en el petróleo por otros de recursos más "bio", pero según estudios de la CE, aunque se podrían sustituir hasta un 90% del consumo actual de polímeros fósiles, no se van a sustituir en un futuro inmediato por los altos precios de producción de los bioplásticos, el precio moderado del petróleo y la capacidad limitada de producción actual.⁴⁵

42 (Estrada, 2008)

43 (Remar, 2011)

44 (Remar, 2011)

45 (Remar, 2011)

Aún así se cree que para 2020 Europa triplicará la producción de bioplásticos, si siguiera aumentando el precio del petróleo.⁴⁶

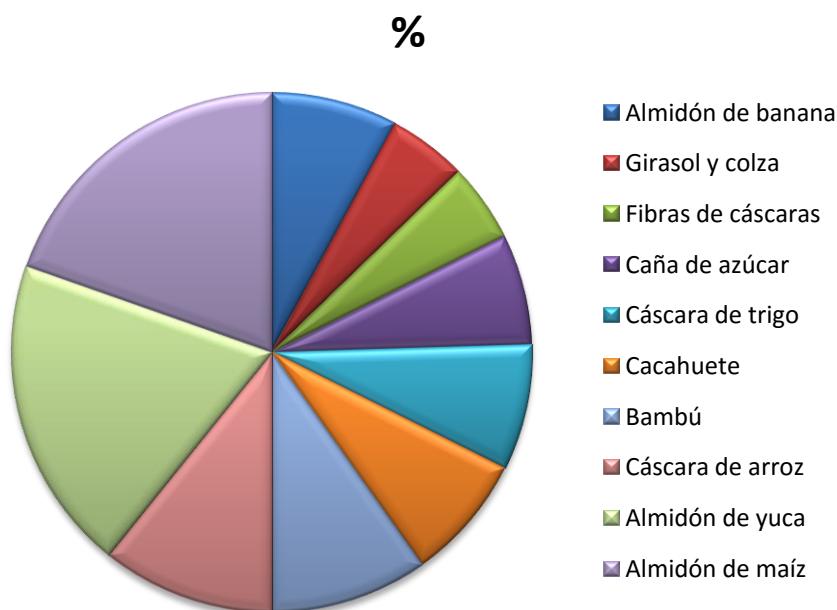


Gráfico 5. Porcentajes de utilización de materias primas para la producción de bioplásticos. (Fuente: Ecoembes)

Polímeros extraídos de biomasa

Polisacáridos

Dentro de los polisacáridos encontramos los plásticos biodegradables basados en el **almidón** que empezaron a investigarse en 1970⁴⁷ Las películas a base de almidón termoplástico (TPS) exhiben propiedades físicas similares a las de polímeros sintéticos; son transparentes, no tienen olor ni sabor, son semipermeables al dióxido de carbono y resistentes a la transmisión de oxígeno. Además, son biodegradables, con una buena disponibilidad y bajo costo⁴⁸ Presentan problemas con la humedad y ya se están investigando formulaciones para reducirlo.⁴⁹ Se pueden obtener películas por medio de compresión, extrusión y soplado y moldeo por inyección⁵⁰.

Autores como Curvelo et al. (2001) realizaron composites a base de fibras de celulosa del eucalipto y almidón por primera vez, otros como Hu et al. (2013) y Xu et al. (2005) investigaron la creación de films con mezcla de quitosán y PLA con TPS obteniendo mejores prestaciones que los films de solo almidón.

46 (Bioworks, 2013)

47 (Villada, Acosta, & Velasco, 2007)

48 (Stagner, Dias Alves, & Narayan, 2012) c.p (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013)

49 (Villada, Acosta, & Velasco, 2007)

50 (Villada, Acosta, & Velasco, 2007)

También se pueden producir biopolímeros a base del polisacárido más abundante: **celulosa**, llamados celofán.

Las películas de celofán tienen buenas propiedades mecánicas, como alta resistencia a esfuerzos de torsión, alta flexibilidad y brillo, pero son sensibles a la humedad. A menudo el celofán se recubre con cera de nitrocelulosa o de cloruro de polivinilideno para mejorar sus propiedades de barrera a la humedad. El celofán recubierto se utiliza para productos de panadería, productos frescos, carnes frías, quesos y dulces⁵¹, también como envoltorio de regalos y cintas adhesivas.

La **quitina** es el segundo polisacárido natural más abundante. Las principales fuentes de este biopolímero son las microfibrillas en el exoesqueleto de muchos crustáceos. La quitina mediante un proceso de desacetilación química o enzimática se convierte en **quitosán**. Se utiliza para alimentación.

Xu et al. (2005) y Peesan et al. (2005) realizaron estudios en películas de quitosán-almidón y quitosán-PLA las cuales han mostrado una alta permeabilidad a gases y un aumento en las propiedades mecánicas.

La **pectina** puede dar películas térmicamente estables a 180° y flexibles, es soluble en agua, puede usarse en la elaboración de películas por proceso de extrusión, compresión y otras operaciones térmicas. Es usada en la fabricación de bolsas y en diversos sistemas médicos. Las películas que resultan de las mezclas de pectina y quitosán junto con cualquier plastificante y PLA, generan buenas propiedades mecánicas y de barrera según el porcentaje de los componentes y la relación con el material alimenticio en estudio⁵².

Proteínas

Las películas basadas en proteínas tienen un bajo coste y son biodegradables, además son resistentes al calor y buenos adhesivos. Pueden ser de origen vegetal como gluten de trigo o proteína de soja y de origen animal como gelatina, caseína, queratina y proteína de suero de leche; también se han investigado algunas de origen bacteriano como quimotripsina y fumarasa.

Se suelen utilizar para formar películas para productos alimenticios que pueden ser comestibles.

Algunas proteínas como la caseína⁵³ se han incorporado junto al PLA en la creación de composites con buenos resultados.

51 (Tang, Kumar, Alavi, & Sandeep, 2012)

52 (Fishman, Coffin, Onwulata, & Konstance, 2004) c.p. (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013)

53 (Gu & Catchmark, 2013)

Polímeros producidos por microorganismos

Polihidroxialcanoatos

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son polímeros producidos de forma natural en algunas células microbianas, son los bioplásticos más versátiles, son biodegradables y tienen propiedades similares a otros plásticos convencionales.

Estos biopolímeros pueden ser extruidos en forma de películas, moldeados o revestidos sobre otros sustratos. Además, el PHA se puede preparar ya sea en una forma fluida o como polvos secos. Se utilizan tanto en artículos de uso diario como envoltorios, bolsas, pañales como en materiales de alto rendimiento.⁵⁴

Uno de sus problemas es el elevado coste de producción, por lo que se han modificado genéticamente bacterias para obtener un proceso más eficiente y se investiga modificar plantas para que pueden producir PHA.⁵⁵

Polímeros sintetizados

Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico, aunque podemos encontrar las primeras referencias en el año 1930⁵⁶, está adquiriendo importancia en los últimos años. Además de ser termoplástico, biodegradable y compostable, es producido a partir de recursos renovables. Su auge radica en el encarecimiento de los productos petroquímicos en los últimos años y en su versatilidad, ya que se puede obtener rígido o flexible. Además, "el PLA muestra un comportamiento en propiedades mecánicas, térmicas y de barrera comparable al de los polímeros sintéticos más utilizados como el poliestireno (PS) y el polietileno tereftalato (PET)"⁵⁷

El PLA es un biopolímero que se obtiene a través del ácido láctico (LA). El LA fue descubierto por Scheele en 1780, cuando lo aisló de la leche agria, pero no fue producido a escala industrial hasta 1881, por Littleton.⁵⁸ Se origina de manera natural en casi todos los seres vivos y se utiliza en la industria química, farmacéutica, alimentaria y del plástico.

Industrialmente se produce por la fermentación de glucosa o sacarosa procedente de la caña de azúcar, maíz, remolacha azucarera o tapioca, entre otros.⁵⁹ Según ERCROS (2014) las investigaciones actuales están dirigidas a la obtención de ácido láctico a partir de material vegetal no alimentario y de biomasa.

Una vez obtenido el ácido láctico se somete a un proceso de polimerización para obtener el PLA.

54 (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013)

55 (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013)

56 (ERCROS, 2014)

57 (Siracusa, Blanco, Romani, Tylewicz, Roculli, & Dalla Rosa, 2012) (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013)

58 (Font & Espino, 2013)

59 (ERCROS, 2014)

El PLA consta de dos partes: D-LA y L-LA, amorfo y cristalino respectivamente, según el contenido de cada uno, le confieren sus propiedades. Según Jacobsen (1999) y Tang (2012) c.p. Cruz-Morfin (2013) soporta mejor los procesos térmicos de extrusión y moldeo que polímeros convencionales como el PET y el PS, debido a la mayor cristalinidad de la zona PLLA.

Entre sus ventajas podemos destacar su alta transparencia y buena resistencia a altas temperaturas. Entre sus problemas encontramos que es muy quebradizo y permeable al agua, por lo que necesita de un secado previo para no producir hidrólisis. Su principal desventaja sigue siendo el costo de producción, que se considera aproximadamente 20% mayor que el de los plásticos convencionales ⁶⁰

El PLA se utiliza, entre otros, para envasado y empaquetado de productos alimentarios, botellas de uso no alimentario; por termoconformado se hacen bandejas para productos frescos, por inyección platos, vasos y cubiertos y por formación de film: bolsas; en automoción se intenta sustituir los plásticos actuales. También tiene usos textiles en forma de hilo continuo, para realizar tejidos o incluso en el sector médico para suturas e implantes, debido a su biodegradabilidad. ⁶¹

Tiene propiedades muy parecidas al polietileno, tanto físicas, como químicas, como mecánicas, pero tiene una densidad más baja y es más hidrófilo. Físicamente es más estable a la luz U.V., por lo que resiste mejor la decoloración. Tiene menor inflamabilidad y una baja generación de humos.

Como se ha mencionado es muy versátil y podemos formularlo para ser rígido o flexible y funciona bien junto con otros materiales.

Las características mecánicas variarán dependiendo del proceso de fabricación y porcentaje de PLA, pero según datos bibliográficos podemos obtener los resultados mostrados en la Tabla 5.

PROPIEDADES PLA	
Densidad	1,24-1,27 g/cm ³
Módulo de elasticidad (Young)	3,3-3,6 GPa
Elongación a la rotura	2,5-6 %
Módulo de flexión	3,1-3,6 GPa
Resistencia a la flexión	66-86,4 MPa
Módulo de corte	1,22-1,29 GPa
Coefficiente Poisson	0,38-0,4
Tenacidad	3,34-4,79 MPa.m ^{0.5}
Temperatura de transición vítrea	52-60 °C
Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa)	51-56 °C
Temperatura de fusión	145-175 °C
Capacidad calorífica específica	1180-1210 J/kg °C
Módulo específico	2,66 - 2,83 GPa

Tabla 5. Propiedades PLA. (Fuente: CES EduPack 2016)

60 (New directions for bioplastic packaging, 2011) c.p. (ERCROS, 2014)

61 (Font & Espino, 2013) (Gross & Kalra, 2002)

Polímeros no biodegradables

Hay que hacer una mención especial a un nuevo polímero desarrollado en los últimos años procedente de la biomasa, el **bio polietileno** (Bio PE).

Aunque en algunos sitios lo mencionan como biodegradable⁶² o le llaman bioplástico⁶³ por su procedencia 100% vegetal, la propia productora, Braskem⁶⁴, o Harmsen et al. (2013) solo hacen referencia a su total reciclabilidad, e incluso niegan su biodegradabilidad.

Este polímero se extrae mediante la fermentación de materia orgánica rica en azúcar como la caña de azúcar, remolacha e incluso del almidón de trigo, obteniendo bio etanol que se convertirá posteriormente en etileno y mediante un catalizador se inicia el proceso de polimerización.

A pesar de no llevar demasiado tiempo en el mercado, la facilidad de producción en las mismas instalaciones que fabrican polietileno de origen fósil, ha llevado ya a sustituir muchos de los envases plásticos.

Se dice que el etanol procedente de la caña de azúcar ya ha sustituido el 30% o más del petróleo que se utiliza para la producción de plásticos.⁶⁵

Braskem, Dow Chemical y Mitsui Chemicals, han sido, entre otros, los responsables del rápido desarrollo. Braskem en 2010 empezó a producirlo a escala comercial y se ha convertido en el mayor productor de bio PE.

Las botellas PlanBottle utilizados por Coca-Cola desde 2009 contienen un 30% de material vegetal y son 100% reciclables y se estima que desde entonces se han vendido más de 2,5 millones de bebidas en este envase.

Otro ejemplo de ello es el premio *Bioplastics award* otorgado a Danone en 2011, por su sustitución de plásticos no biodegradables por Bio PE.⁶⁶ Ese mismo año, marcas como Johnson&Johnson, Nestlé, Tetra Pak y Pantene anunciaron que en mayor o menor medida sustituirían sus envases por otros producidos a partir de polietileno de caña de azúcar⁶⁷.

El bio PE, a parte de su origen natural y su reciclabilidad, conlleva grandes beneficios medioambientales con una huella de carbono muy baja, reduciendo en gran medida los gases de efecto invernadero que se producirían al utilizar petróleo como materia prima. Durante el crecimiento de la caña de azúcar el CO² consumido, supera al generado en el proceso de producción del bio polietileno, por lo que cada año se elimina CO² de la atmósfera.

62 (Gil, 2012)

63 (SugarCane)

64 (Braskem)

65 (SugarCane)

66 (Bioplastics Magazine)

67 (SugarCane)

Aunque es difícil encontrar información respecto a sus características mecánicas se dice que tiene las mismas propiedades físicas y químicas del PET obtenido a partir de petróleo o gas natural.⁶⁸

La

Tabla 6 muestra las características del PE de origen fósil, siendo las del bio PE parecidas.

PROPIEDADES PE-HD	
Densidad	0,93-0,96 g/cm ³
Módulo de elasticidad (Young)	0,6--0,8 GPa
Elongación a la rotura	1,21e3-1,4e3 %
Módulo de flexión	0,825-1,24 GPa
Resistencia a la flexión	29-62,7 MPa
Módulo de corte	0,218-0,314 GPa
Coefficiente Poisson	0,418-0,434
Tenacidad	1,44-1,72 MPa.m ^{0.5}
Temperatura de transición vítrea	-125 - -90 °C
Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa)	65-80 °C
Temperatura de fusión	125-132°C
Capacidad calorífica específica	1750-1810 J/kg °C
Módulo específico	0,645 - 1,2 GPa

Tabla 6. Propiedades PE-HD. (Fuente: CES EduPack 2016)

68 (SugarCane)

2.2.3.3 Interacción fibra matriz

Uno de los problemas más importantes a la hora de utilizar fibras naturales es la hidrofiliidad que presentan, y que provoca una mala interacción con la matriz polimérica. La baja adhesión y poca compatibilidad, podría provocar problemas dando unas propiedades físicas y mecánicas inferiores a las deseadas. Otro es la gran adsorción de agua dentro del material compuesto, lo que provoca que sea dimensionalmente inestable⁶⁹, por ello necesitamos mejorar esta interacción mediante tratamientos que intentarán modificar las propiedades de la superficie de las fibras.

Los tratamientos empleados con más frecuencia se pueden dividir en tratamientos físicos, químicos y biológicos.

Físicos

Los tratamientos físicos cambian las propiedades estructurales y superficiales de las fibras y de este modo influyen en la unión mecánica con los polímeros.

Dentro de estos tratamientos se encuentran: el estiramiento, calandrado, tratamiento térmico y producción de hilos híbridos. Otros tratamientos físicos son el plasma, descarga de corona o la radiación ultravioleta.

El tratamiento mediante **descarga corona** oxida las superficies cambiando la energía superficial de la celulosa y al aplicarlo sobre estas y sobre la matriz, que es hidrofóbica, obtendremos mayor compatibilidad entre ellas. Se deben cuidar los tiempos ya que con larga exposición se puede dañar/degradar las fibras y obtener peores resultados mecánicos.

Gassan & Gutowski (2000) estudiaron el tratamiento en fibras de yute y comprobaron que las fibras tratadas con descarga de corona aumentan la energía superficial pero desafortunadamente la oxidación también provoca una disminución de la tenacidad conforme aumentaban el tiempo y potencia del tratamiento. También obtuvieron unos resultados parecidos con un tratamiento UV.⁷⁰

El tratamiento con **plasma**: es un método reciente, permite modificar de manera significativa las capas externas de la fibra mediante la ionización de un gas. Dependiendo del tipo de método de plasma utilizado (atmosférico, baja presión o polimerización) y del gas del que se parta, se obtienen diferentes modificaciones y resultados. Es difícil controlar este proceso y se debe optimizar.

Algunos autores revelan la mejora de la interacción y de la adhesión de las fibras naturales con la matriz. Los estudios muestran una modificación de la morfología, de la humectabilidad y de la composición química superficial de las fibras tras el tratamiento, dando como consecuencia una

69 (Gao, Xie, Ou, & Wang, 2012)

70 (Gassan & Gutowski, 2000)

mayor interacción y unas propiedades mecánicas superiores⁷¹, por ejemplo en fibras de lino y resinas de poliéster y fibras de sisal y polietileno de baja densidad.

Químicos

Existen gran variedad de tratamientos químicos y la mayoría han sido estudiados profusamente.

Se pueden destacar los tratamientos alcalinos, la acetilación, agentes de acoplamiento como los silanos, el anhídrido maleico, titanatos, zirconatos, peróxidos, permanganatos, bencilo, etc.

El tratamiento **alcalino** (también llamado mercerización) elimina parte de los componentes de la fibra (hemicelulosa, lignina, cera y aceites) para dejar la celulosa expuesta y con una superficie rugosa que mejora la unión interfacial. Se basa en dejar en remojo las fibras en una solución acuosa de NaOH.

Según Pickering et al. (2016) se logra mayor cristalinidad en tratamientos cortos y mejora de la resistencia de la fibra. Muchos estudios han informado de mejoras en la resistencia interfacial al cizallamiento y una mejor resistencia a la tracción, módulo de Young, deformación de rotura, resistencia al impacto, resistencia a la fractura y propiedades de flexión de los materiales compuestos, así como la estabilidad térmica y resistencia a la humedad a largo plazo, el último de los cuales podría ser debido a la reducción de absorción de humedad al realizar el tratamiento alcalino.⁷²

Por ejemplo Huda et al. (2008) investigan las ventajas del tratamiento alcalino en fibra de hoja de piña en compuestos con PLA, obteniendo mejores propiedades mecánicas en las fibras tratadas, aumento de la adherencia interfacial y mejora de la humectabilidad.

Goda et al.(2006) por su parte probó el tratamiento en fibras de ramio, obteniendo también mejores resultados mecánicos, por ejemplo la resistencia al a tracción aumenta un 4-18% respecto a fibras sin tratar aunque el modulo de Young disminuye.

Se encuentran también artículos sobre yute⁷³, hilo de cáñamo⁷⁴, con mejores propiedades mecánicas e incluso mejor resistencia a la flexión.⁷⁵

La **acetilación** modifica la superficie de las fibras dando fibras más hidrófobas, lo cual mejora la interacción, aportando resistencia y rigidez a tracción y flexión como estabilidad dimensional y térmica y resistencia a los hongos.⁷⁶

71 apuntes

72 (Khalil, Ismail, Rozman, & Ahmad, 2001) (Gomes, Matsuo, Goda, & Ohgi, 2007) (Dipa, Sarkar, Rana, & Bose, 2001)

73 (Ray, Sarkar, Rana, & Bose, 2001)

74 (Bledzki, Fink, & Specht, 2004)

75 (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

76 (Pickering, Aruan, & Le, 2016)

El proceso consiste en la introducción de un grupo funcional acetilo en un compuesto orgánico, que cubre los grupo OH de las fibras que son los causantes de la hidrofiliidad.

Para ello se sumergen las fibras en ácido acético glacial y luego en anhídrido acético junto con unas gotas de ácido sulfúrico.

Al igual que con otros tratamientos, un exceso puede ser perjudicial para las propiedades mecánicas debido a la degradación de la fibra que producen los catalizadores.⁷⁷ Se comprobó por Bledzki et al. (2008) en fibras de lino.

Hay diversos **agentes de acoplamiento** que mejoran el grado de reticulación en la región de la interfase, como ácidos orgánicos, compuestos derivados de anhídrido maleico, silanos, titanatos, zirconatos...

Existen varios tipos de **silanos** con diversas compatibilidades químicas con los polímeros, que incrementan la adhesión e interacción entre la fibra y el polímero. En el tratamiento con silano, las fibras se sumergen en una mezcla de alcohol y agua junto con el agente de acoplamiento.

En el yute y fibras celulósicas la interacción consiste en la unión del agente compatibilizante directamente a la fibra, mediante una modificación superficial que transforma la superficie hidrófila de la celulosa. Los silanos crean enlaces del tipo siloxano con la celulosa, reaccionando con los grupos hidroxilo y dejando libres grupos químicos que pueden unirse con el polímero a través de fuerzas de Van der Waals o radicales libres⁷⁸. Según Vera et al. (2014) "La mejora de la adhesión, usando silanos, usualmente resulta en mayores módulos tensiles, módulo de elasticidad y ruptura del material fibrorreforzado en comparación con el polímero virgen."

El tratamiento **anhídrido** se basa en la reacción de los grupos hidroxilo en la superficie de la fibra, lo que provoca una reducción significativa de la absorción de agua. Normalmente se utiliza anhídrido maleico o polipropileno maleado en una solución de tolueno o xileno para impregnar las fibras.

Otros tratamientos químicos que se han probado para la mejora de la interacción fibra-matriz se basan en el uso de **ácido esteárico**, mezclado en una solución de alcohol etílico: la **bencilación**, donde primero se trata con NaOH al 10% y después se trata con cloruro de benzolio y etanol; tratamiento **TDI**, donde las fibras se sumergen en cloroformo con unas gotas de un catalizador (basado en dilaurato de dibutilestaño) y luego se le añade tolueno, y muchos otros tratamientos basados en **peróxido de dicumilo**, **isocianatos** y **permanganato**, dando todos ellos mejora en las propiedades mecánicas finales del compuesto y disminución de la hidrofiliidad de las fibras.⁷⁹

77 (Bledzki A. , Mamun, Lucka-Gabor, & Gutowski, 2008)

78 (Leu, Yang, Loc, & Yang, 2012)

79 (La Mantia & Monreale, 2011)

Biológicos

Las modificaciones biológicas ofrecen varias ventajas respecto a los métodos físicos y químicos: pueden eliminar selectivamente hemicelulosa y pectina, según el tipo de enzima, además requieren menor energía y pueden ser reciclados después de cada uso.⁸⁰

Las **enzimas** son proteínas que aceleran las reacciones químicas que se producen en los organismos. Su uso es cada vez más importante por ser más respetables con el medio ambiente que otros tratamientos.

Las enzimas oxidativas forman radicales en la superficie de la lignina, generados mediante la sustracción de un átomo de hidrógeno de la lignina. Este proceso mejora la auto-adhesión de las fibras lignocelulósicas.⁸¹ Con los tratamientos enzimáticos se puede mejorar la cristalinidad de las fibras, las propiedades térmicas, se consiguen fibras con una textura más uniforme y homogénea y los composites realizados con las fibras modificadas con enzimas presentan mejores propiedades mecánicas debido a que también mejora la dispersión de las fibras en la matriz.⁸²

Bledzki et al. (2010) trataron fibras de abacá⁸³ obteniendo una fibra con una superficie más suave y aumentando la resistencia a la tracción.

Como vemos son muchos los tratamientos existentes y muchos los estudios realizados para cada uno, según La Mantia y Monrreale (2011) los tratamientos de TDI, peróxido y silanos darían mejores resultados en las propiedades mecánicas y el tratamiento alcalino y la acetilación mejoran la estabilidad térmica y dimensional.

Es por ello que existen múltiples investigaciones donde se utilizan más de un tratamiento a la vez como Li et al. (2015), que en fibras de bambú utilizan primero un tratamiento alcalino y luego silanos, o Tahir Zafat et al. (2016) también ambos tratamientos en yute.

80 (Samper, 2015)

81 (Alvarez, Gañan, Arboleda, & Mejia, 2007) c.p (Samper, 2015)

82 (George, Mussone, & Bressler, 2014), (Patra, Madhu, & and Chakraborty, 2010) (Vigneswaran & Jayapriya, 2010) c.p (Samper, 2015)

83 (Bledzki A. , Mamun, Jaszkiwicz, & Erdmann, 2010)

2.3- Ballenas y composites

Se ha realizado una búsqueda en bases de datos de patentes como PatentScope y Espacenet, con las palabras clave: "*composite and (boning or whalebone) and (corset or corsetry) not "A61" not heart not medic not abdominal not muscles not cancer*" para encontrar posibles investigaciones sobre la sustitución de ballenas por materiales compuestos.

Se encuentran patentes interesantes a lo largo del último siglo que sugieren la utilización de un material termoplástico aplicado en diferentes zonas para lograr reforzar prendas de vestir o cualquier otro elemento que necesite de un soporte estructural.

Una patente de 1937⁸⁴ menciona la utilización de material termoplástico procedente de celulosa, introducido entre dos capas de hilos, tejido, cuero, o cualquier otro material que posea una superficie porosa para absorber el termoplástico. Sugieren su utilización para reforzar zonas de calzado, paraguas, tiendas de campaña, sillas de tela y corsés. Con ello pretenden dar rigidez en la zona aplicada.

Otra patente de 1939⁸⁵ busca mejorar concretamente las ballenas metálicas utilizadas en los corsés, cinturones o otras prendas de vestir, usando un revestimiento sobre la plancha de acero y recubierto con un tejido en forma de red. Logrando así que la plancha metálica tenga una superficie lisa, sin imperfecciones y con bordes que no corten el tejido.

La invención de Warcoal Corp en 1992⁸⁶ habla de los problemas que presentan las ballenas y aros de sujetadores que solo se pueden utilizar introduciéndolos dentro de las costuras o fundas cosidas a la tela, pero que no se fijan directamente en el tejido. Por ello sugieren la utilización de una resina de poliuretano directamente sobre la tela. La resina de poliuretano se puede utilizar con un acabado rígido o más flexible, ajustando la composición del material o el endurecedor, dependiendo para el tipo de ropa al que se aplica, la ubicación o la función. Describe un método de aplicación mediante inyección con una boquilla directamente en el tejido, de un pre-polímero de resina de poliuretano sintetizado a partir de un compuesto de isocianato y polioliol, que se aplica a la zona predeterminada en la superficie de la prenda (Figura 9) y se calienta para lograr la reticulación. Una vez solidificado

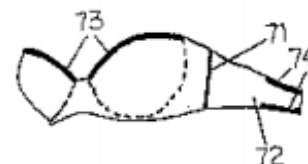


Fig. 7



Fig. 8

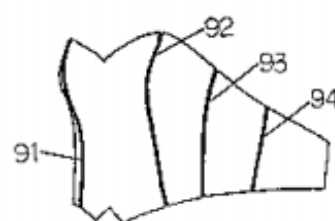


Fig. 9

Figura 9. Dibujos de las reclamaciones realizadas en la patente EP0516994 (A1) de Warcoal Corp (1992) señalando las zonas de aplicación de la resina de poliuretano.

84 (British Celanese, 1937)

85 (Weeks Ets, 1939)

86 (Fuji Takako Room No, 1992)

proporciona rigidez al tejido, se adhiere firmemente y resiste los lavados.

Por último existen varias patentes propiedad de Stretchline Intellectual Properties LTD⁸⁷, donde el inventor Cain Stephen, reclama una invención, bastante parecida a la de 1937, donde pretende utilizar un recubrimiento termoplástico sobre un tejido afelpado. Según la invención, el tejido afelpado ayudaría a una mejor adhesión en el pelo que presenta el tejido. Describe su utilización sobre tiras de tejido, que se pueden doblar o introducir otro tejido con un adhesivo, para que el termoplástico quede en medio, también menciona el uso del termoplástico con la forma específica de la zona a aplicar (Figura 10) y que se puede moldear con calor con posterioridad para darle una forma tridimensional. Con esta invención pretende dar rigidez a determinadas zonas de la prenda, que se puede utilizar en sujetadores, corsés o cualquier prenda que necesite un soporte.

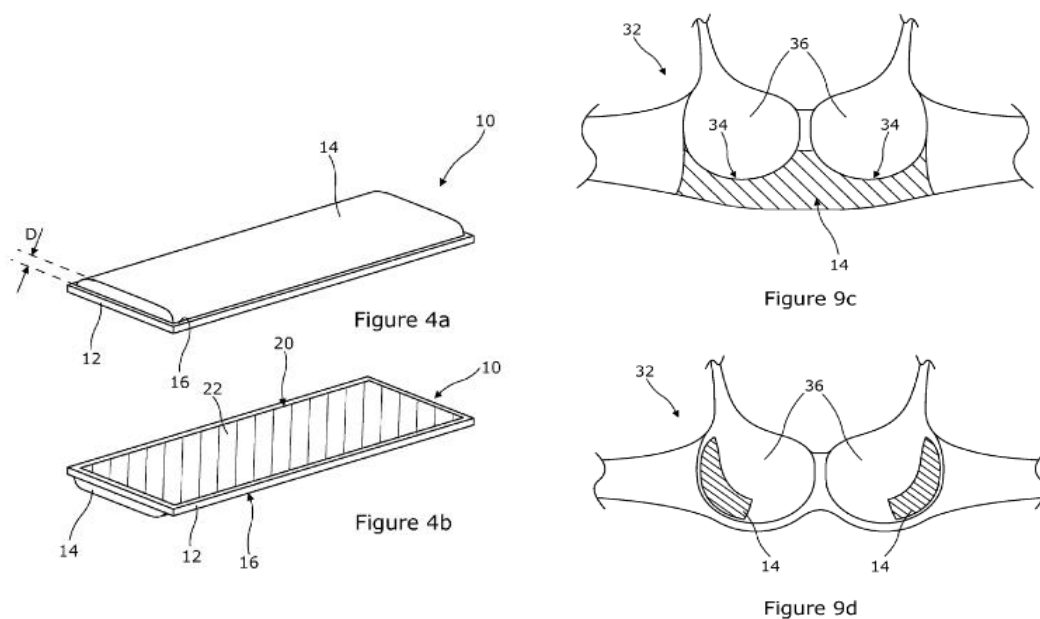


Figura 10. Dibujos de las reclamaciones realizadas en la patente de Stretchline Intellectual Properties LTD (2016) N° de patente CN104582516 (A)

Como vemos ninguna de estas patentes se plantea la creación de un material compuesto como tal, pero si una varios componentes utilizando un polímero que mejora las propiedades del tejido, volviéndolo más rígido.

En algunas de estas patentes mencionan procesos de termoconformado, aplicando calor sobre el compuesto, aprovechando las propiedades del material termoplástico, para darle forma que se mantendrá al enfriar el material, aportando además de rigidez una forma predeterminada.

Estas patentes resultan útiles, dado que en este proyecto se plantea la utilización de un termoplástico para crear mediante termocompresión un green composite que pueda sustituir las ballenas actuales.

87 (Cain, 2013-2016)

III. EXPERIMENTAL

3.1 Efecto de tratamiento alcalino y con silanos en creación de green composites de bio polietileno con tejido de yute, lino y bambú

3.1.1 Resumen

En el presente estudio se procedió a crear green composites con matriz de bio polietileno. Se evaluaron primero las propiedades mecánicas de las ballenas actuales, para determinar las propiedades óptimas que se buscan, para luego crear un composite con propiedades similares.

Después de una intensa investigación se decidió la utilización de tejidos de fibras naturales como yute, lino y bambú y se evaluó la mejora de sus prestaciones utilizando los tratamientos con álcali y silanos.

Finalmente fueron valorados los resultados, para obtener la mejor combinación de tejido y tratamiento.

3.1.2 Introducción

Ante las necesidades crecientes actuales de encontrar sustitutos a los productos petroquímicos, ha habido un aumento de interés en distintos campos en la utilización de green composites, sobretodo en el uso de fibras naturales para sustituir las de origen químico y en encontrar nuevos polímeros biodegradables.

Para el estudio fue necesario investigar varios tipos de fibras naturales como el yute, lino y bambú y su comportamiento con una matriz de bio polietileno procedente de caña de azúcar.

Se utilizaron tejidos bidireccionales con ligamento tafetán (yute) y panamá (lino y bambú) de las fibras seleccionadas (Figura 11).

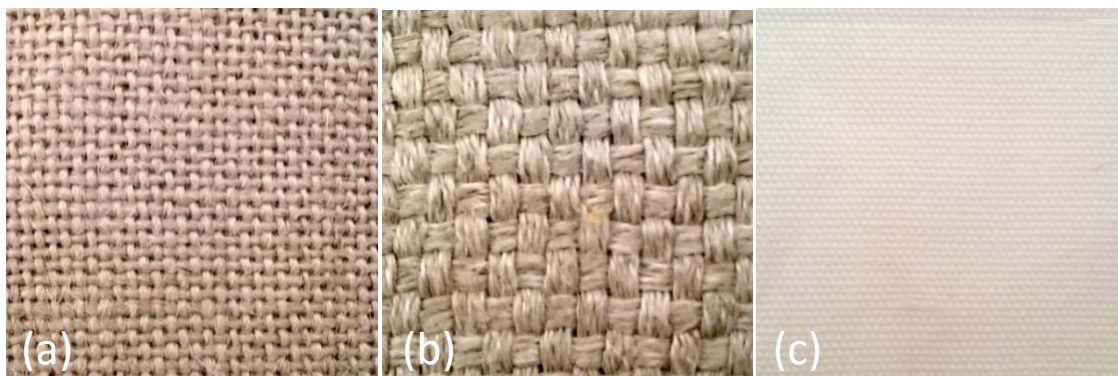


Figura 11. Tejidos de yute (a), lino (b) y bambú (c) utilizados en la creación del compuesto.

Las fibras naturales, normalmente hidrófilas, presentan problemas frente a los polímeros hidrófobos utilizados en la creación del composite, provocando una baja adhesión. Otro problema es la gran capacidad de adsorción de agua dentro del material compuesto, hecho que provoca que el material sea dimensionalmente inestable⁸⁸. Dado que en el material compuesto

88 (Gao, Xie, Ou, & Wang, 2012)

se busca un efecto sinérgico en las propiedades finales, se necesita una interacción óptima entre fibra y matriz.

Además, ya que el estudio pretende encontrar un sustituto a las ballenas plásticas y metálicas, se debe buscar el material físicamente y mecánicamente más parecido posible.

Son muchas las investigaciones sobre la mejora de los composites con algún tratamiento. Oza et al. (2014) investigaron el efecto de la modificación química con silanos, alcalinización y acetilización, en las características de degradación térmica de los materiales compuestos de cáñamo-PLA. El efecto de la alcalización fue investigado por Rajesh y Ratna (2014)⁸⁹ en fibras naturales como el yute y por Li et al. (2015) junto con silanos, en fibra de bambú.

La mejora de unión interfacial por medio de silanos ha sido estudiada por Takemura et al. (2012) en fibras de yute, y en bambú, por Sujaritjun et al. (2013) y Ma et al. (2011).

En este ensayo se probó el tratamiento alcalino, la silanización y cómo actúan ambos a la vez, comparándolo con muestras sin tratar.

Para ello se definió primero el diseño de experimentos (Página 54) para obtener las combinaciones de la muestras (Tabla 7) y posteriormente analizar resultados.

Muestra	Fibra	Tratamiento
1	Yute	Sin tratamiento
2	Yute	Silano
3	Yute	Alcalino
4	Yute	Alcalino +Silano
5	Lino	Sin tratamiento
6	Lino	Silano
7	Lino	Alcalino
8	Lino	Alcalino +Silano
9	Bambú	Sin tratamiento
10	Bambú	Silano
11	Bambú	Alcalino
12	Bambú	Alcalino +Silano

Tabla 7. Número y composición de las muestras a realizar.

En la Tabla 8 se muestran los resultados del ensayo de tracción realizado a ballenas que se comercializan en la actualidad.

Muestra	Material	Ensayos a tracción				Ensayos a flexión	
		Ancho mm	Espesor mm	Carrera	Resist. Máx MPa	Módulo Young MPa	Resist. Máx. MPa
Ball 1	Poliamida	8,38	1,6	21,33	41,9	2258,4	52,8
Ball 2	Poliamida	11,67	1,3	67,45	51,49	2144,7	48,1

Tabla 8. Resultados ensayo tracción y flexión en ballenas de nylon.

89 (Rajesh & Ratna Prasad, 2014)

3.1.3 Tratamiento

Pretratamiento

En muchos estudios se realiza un pretratamiento para eliminar posibles restos de tratamientos y/o acabados que pudiera llevar el tejido suministrado, encontramos casos en que el yute se sumerge en agua⁹⁰, el lino se seca en una estufa durante un largo periodo⁹¹ o incluso se prepara una solución de acetona⁹².

En este caso para pretratar el tejido se utilizó una disolución del 90% acetona durante 45 minutos a 60°C. Después se lavó en agua destilada, para neutralizar, y se dejó secar a temperatura ambiente antes de introducirlo en la estufa durante 2h. a 60°C para eliminar posibles restos de acetona.

Alcalinización

Las fibras se sumergieron en una solución acuosa con un 10% de NaOH durante 90 minutos. Pasado este tiempo se lavó en agua destilada abundante y se dejó secar antes de seguir con el tratamiento de silano en las muestras requeridas.

Tratamiento silano

El tratamiento con silano se realizó con 3 *Aminopropyl trimethoxysilane* 97% distribuido por *Aldrich Chemistry*. Se preparó en disolución de agua/etanol al 50-50 con un 5% de silano según volumen disolución. Como se indica en la Tabla 7 se realizará en tejidos pretratados y en tejidos mercerizados.

Los tejidos fueron sumergidos en la disolución durante 1h y se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24h.

3.1.4 Método

Termocompresión

La preparación de las distintas planchas se ha llevado a cabo mediante termocompresión con prensa de platos calientes. La prensa utilizada ha sido una prensa Robima de 10Tn (Robima S.A., Valencia, España) con un sistema de control de temperatura de DUPRA (DUPRA S.A, Castalla, Alicante)(Figura 12).

La metodología consiste en depositar una o varias capas de tejidos entre las dos planchas o molde y mediante temperatura y presión lograr que el polímero termoplástico introducido, ya sea mediante film o incorporado en el tejido, funda e interaccione con las fibras.

Existen estudios recientes de Rubio-López et al. (2015) y Mat Kandar et al. (2016) sobre la optimización de los parámetros utilizados en la maquinaria, donde determinan el termoconformado óptimo de composites de fibras naturales con matriz de film de PLA (Tabla 9).

90 (Rajesh & Ratna Prasad, 2014)

91 (Zhang, Ming, Yang, Li, Li, & Shao, 2015)

92 (Karsli & Aytac, 2014)



Figura 12. Prensa de platos calientes

	Temperatura	Presión	Tiempo
Rubio-López et al. (2015)	185 °C	8-32 MPa	3 min
Mat Kandar et al. (2016)	200 °C	30 MPa	3 min

Tabla 9. Resultados óptimos para termocompresión según estudios.

Concluyen que con mayor calentamiento la resistencia es menor por el daño provocado en la fibra y en temperaturas menores no se logra la completa fusión con la matriz. La presión alta podría romper la fibra y una baja, implica falta de cohesión. El tiempo es el óptimo para lograr buenos resultados y no perder tiempo en la producción.

En este estudio, con una matriz de bio polietileno, se programó la prensa a 185°C con una presión entre 8-9 MPa y con 2 minutos de aplicación. La velocidad en enfriamiento en principio no es determinante, por lo que se dejó enfriar por sí solo, con un peso encima para que no se deformara la probeta.

Para las muestras de yute y lino se utilizaron 3 capas de tejido, intercaladas con 1 capa de bio polietileno y 2 en los extremos. En el tejido de bambú se usaron 5 capas de tejido intercaladas con 1 capa de bio polietileno y 2 en los extremos. Obteniendo aproximadamente un compuesto de 60% fibra y 40% matriz de bio polietileno.

3.1.5 Resultados y discusión

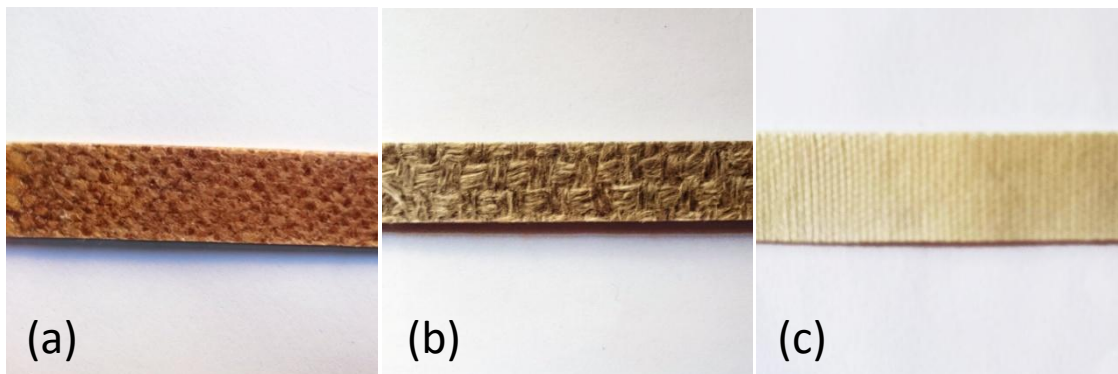


Figura 13. Compuesto resultante de yute (a), lino (b) y bambú (c) con matriz de bio polietileno.

Mediante una observación inicial subjetiva, las muestras de lino presentaron un aspecto acartonado y mala interacción entre fibra y matriz, a falta de valorar los resultados de los ensayos ya se pudo apreciar poco parecido a las ballenas de nylon.

Aparentemente yute y bambú mostraban un aspecto que se aproximaba más al objetivo del proyecto.

Análisis de los tejidos tratados mediante SEM

Todas las pruebas de microscopía se realizaron con el microscopio electrónico de barrido (SEM), suministrado por FEI, modelo PHENOM de la compañía FEI Company, Eindhoven, Holanda (Figura 14), con un voltaje de aceleración de 5 KV. A las muestras se les aplicó un recubrimiento mediante un proceso de sputtering de Oro/Paladio con un espesor del orden de nanómetros mediante el equipo que se puede observar en la Figura 15.

Se analizaron los diferentes tejidos tratados y sin tratar para observar cómo reaccionaban con la fibra.



Figura 14. Microscopio electrónico de barrido utilizado.



Figura 15. Metalizador.

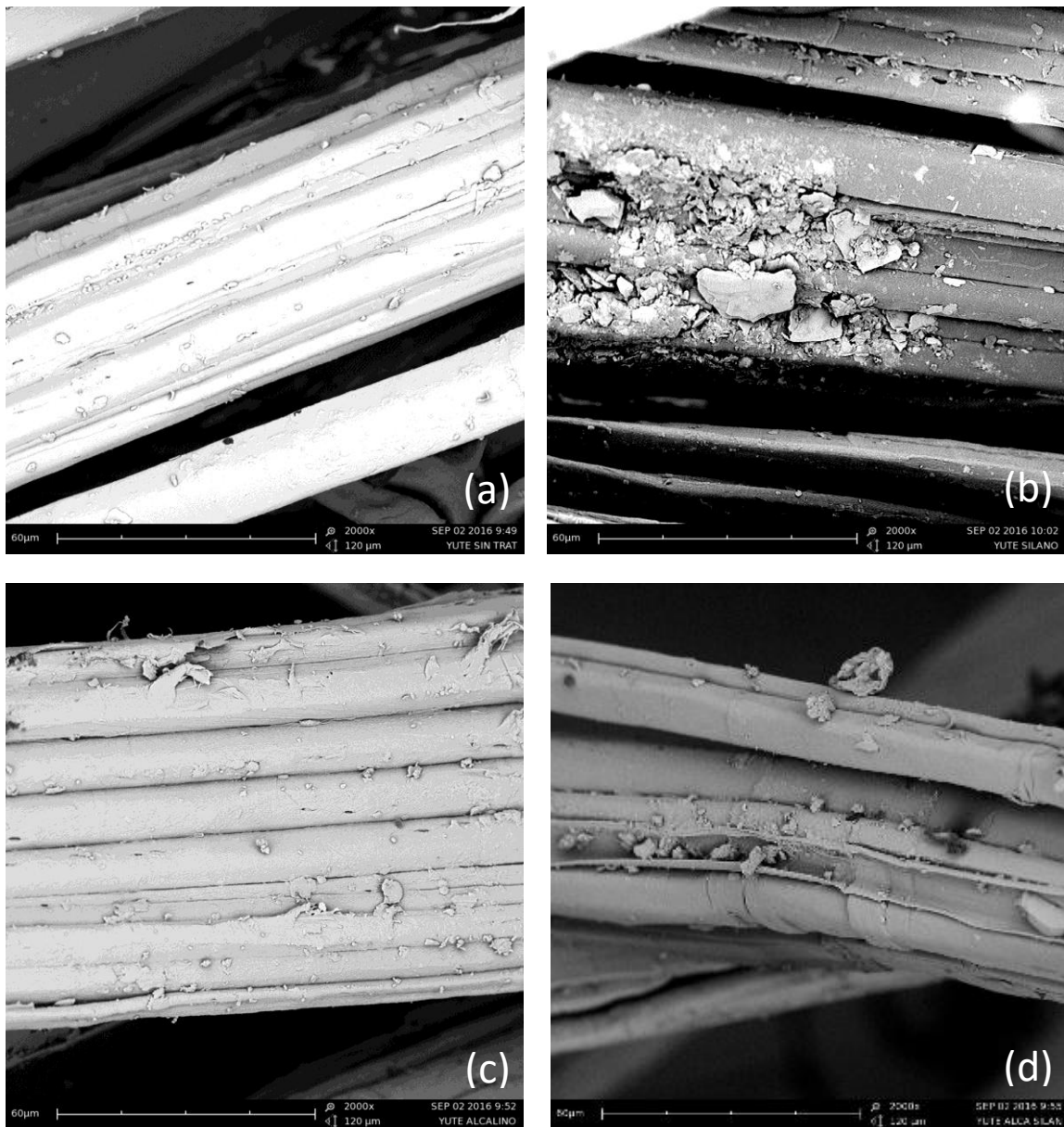


Figura 16. Imagen SEM de las fibras de yute sin tratar(a), tratamiento con silanos (b), tratamiento alcalino (c) y tratamiento alcalino y silanos (d) x2000 aumentos.

En las fibras de yute (Figura 16) se puede observar la modificación superficial al introducir silanos observándose claramente los agentes de acoplamiento sobre la superficie de la fibra en los dos casos en que se han utilizado (Figura 16, imágenes b y d).

El tratamiento alcalino apenas mostró modificación superficial en las fibras de yute.

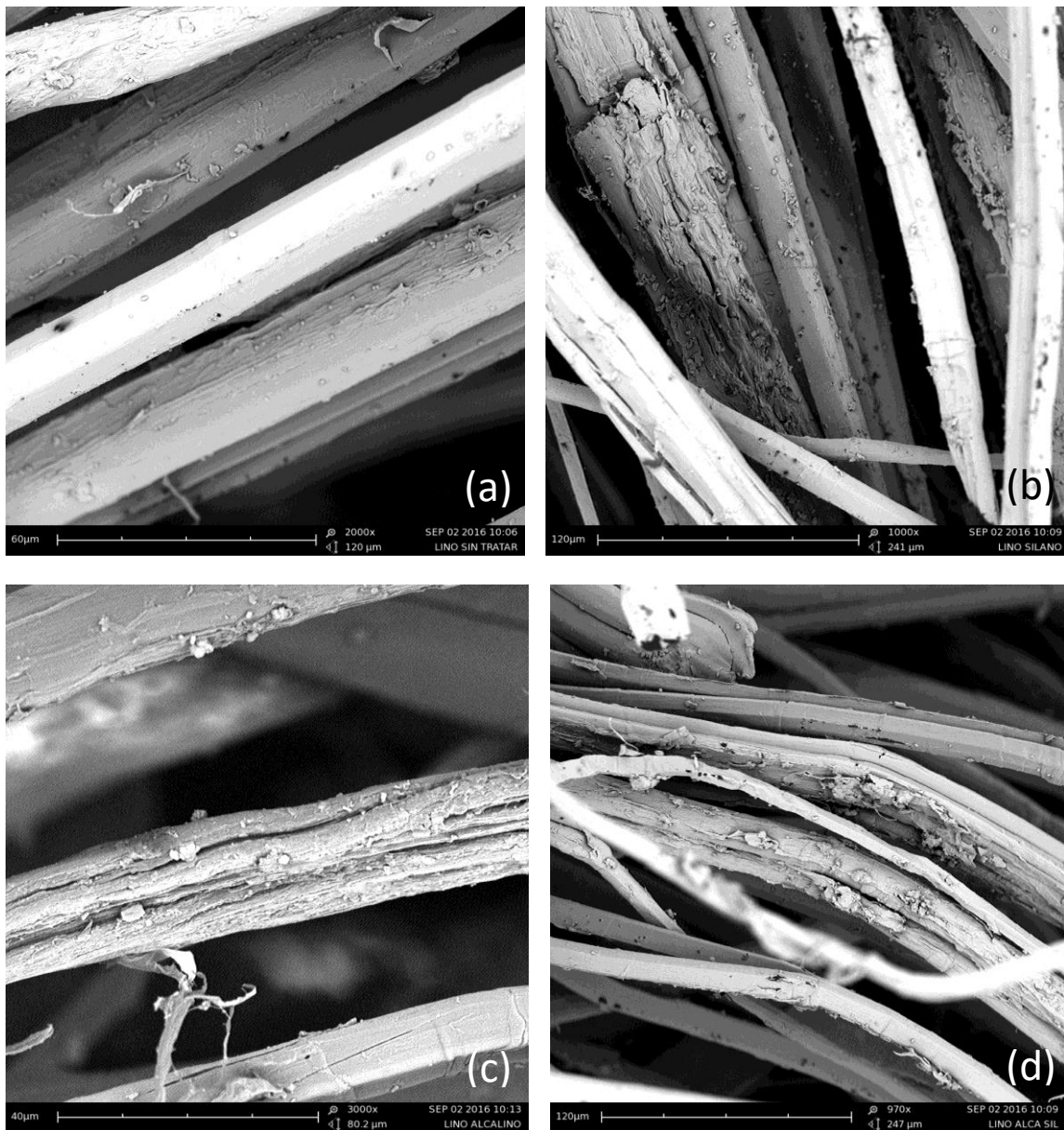


Figura 17. Imagen SEM de las fibras de lino sin tratar(a) x1000 aumentos, tratamiento con silanos (b)x1000 aumentos, tratamiento alcalino (c)x3000 aumentos y tratamiento alcalino y silanos (d) x970 aumentos.

La incorporación de silanos en las fibras de lino (Figura 17) se observó en forma de partículas adheridas a la superficie de las fibras.

El tratamiento alcalino (Figura 17, imagen c y d) mostró una corrosión en la fibra que aumentó la superficie rugosa de la esta y por tanto también la superficie específica que dará mejor unión mecánica del compuesto y mayor zona para la unión química .

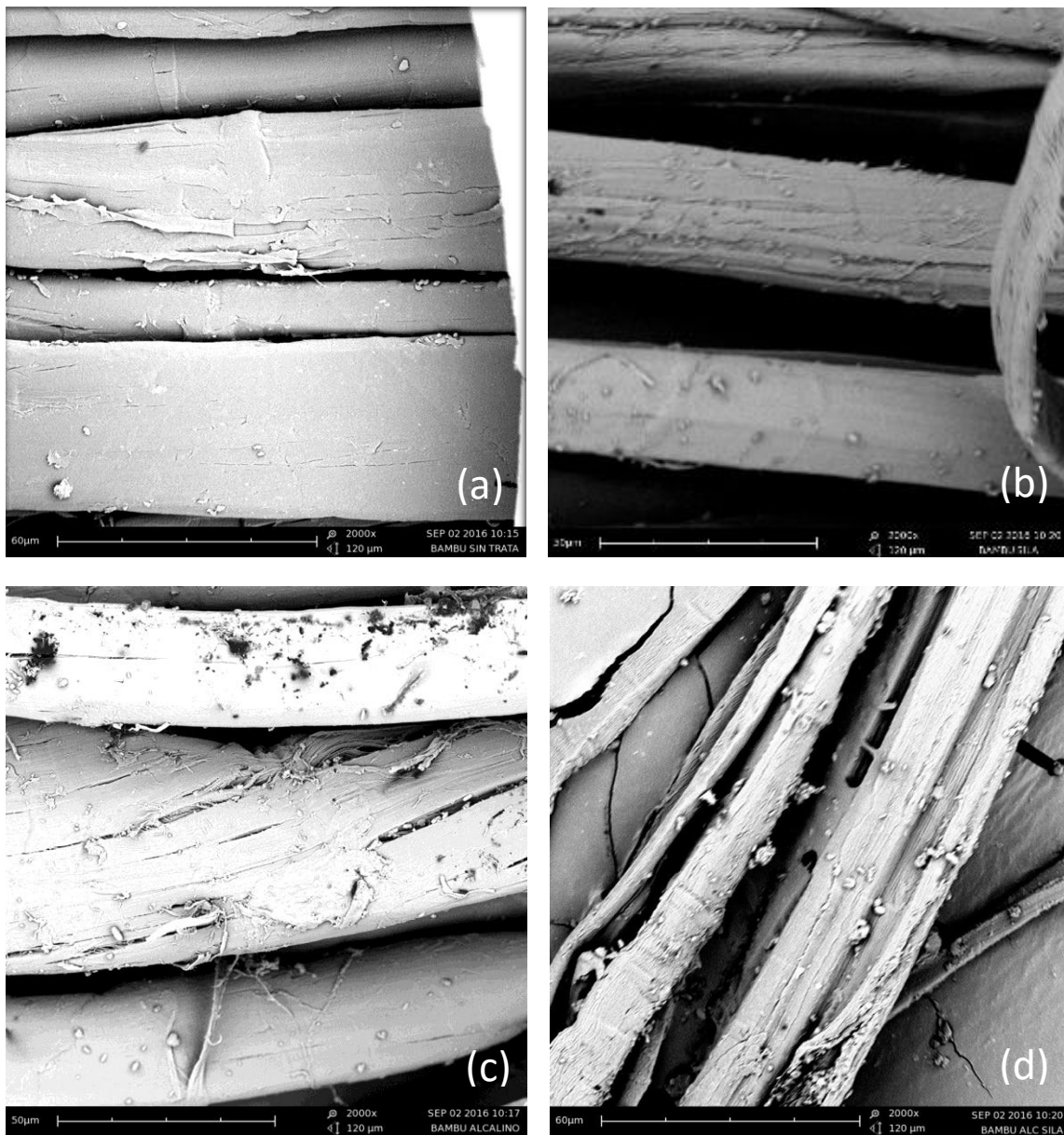


Figura 18. Imagen SEM de las fibras de bambú sin tratar(a), tratamiento con silanos (b), tratamiento alcalino (c) y tratamiento alcalino y silanos (d) x2000 aumentos.

En las fibras de bambú el efecto de la silanización no se hizo tan palpable como en los casos anteriores, aunque si se observó la adhesión de algunas partículas de silano (Figura 18, imagen b y d).

El ataque químico de la alcalinización se aprecia en la aparición de surcos en la superficie de la fibra (Figura 18, imagen c y d), aumentando la superficie específica y por tanto la interacción con la matriz.

Evaluación de la fibra tratada con medición de ángulos de contacto

Se midieron los ángulos de contacto en los diferentes tejidos tratados utilizando H₂O y realizando un mínimo de 4 puntos de medida de cada muestra.

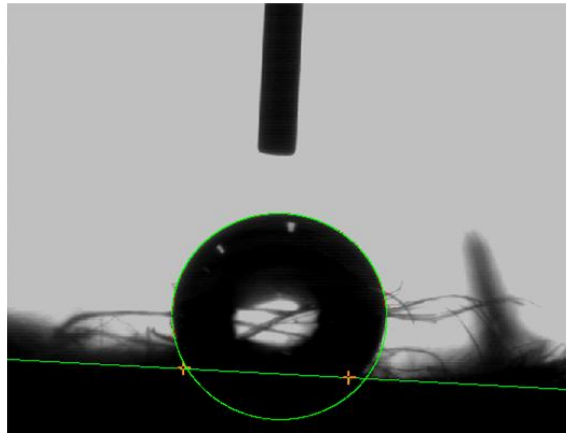


Figura 19. Medida del ángulo de contacto en tejido de lino con tratamiento alcalino (124,5°)

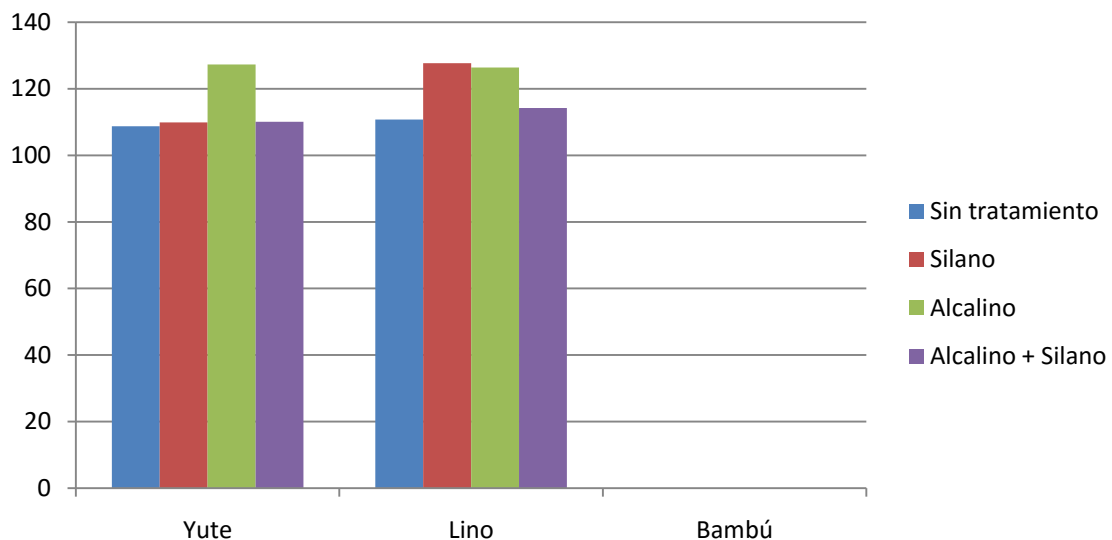


Gráfico 6. Comparación resultados de hidrofiliidad de las fibras según el tratamiento.

Los resultados en bambú mostraron un tejido completamente hidrófilo con un ángulo de contacto cercano a 0°. Los diferentes tratamientos no mostraron mejoras destacables, solo un leve aumento, de milésimas de segundo, del tiempo que tardaba en penetrar el tejido.

En las muestras de yute se observó un aumento de la capacidad hidrofóbica con el tratamiento alcalino, apenas perceptible en las muestras tratadas con silano.

En cambio, en el lino tanto el tratamiento alcalino como de silanos muestran mejoras en la hidrofobicidad, pero no en el caso de la utilización de ambos a la vez en el mismo tejido, que solo la aumenta ligeramente respecto al tejido de lino sin tratar.

En los siguientes ensayos se comprobó si dichos tratamientos mejoraron la interacción del tejido con la matriz.

Caracterización mecánica del composite

Las pruebas de caracterización mecánica del material fueron realizadas con la máquina electromecánica de tracción Elib50 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España) siguiendo las directrices de la normativa UNE-EN ISO 527-4:1997. "Plásticos. Determinación de las propiedades de tracción. Parte 4: condiciones de ensayo para plásticos compuestos isotrópicos y ortotrópicos reforzados con fibras". Se utilizó una célula de carga de 5kN y el soporte de ensayos de tracción, con una velocidad de aplicación de la carga de 5mm por minuto.

Para la realización de dichos ensayos se utilizaron 3 probetas de cada muestra y se obtuvo el valor promedio.

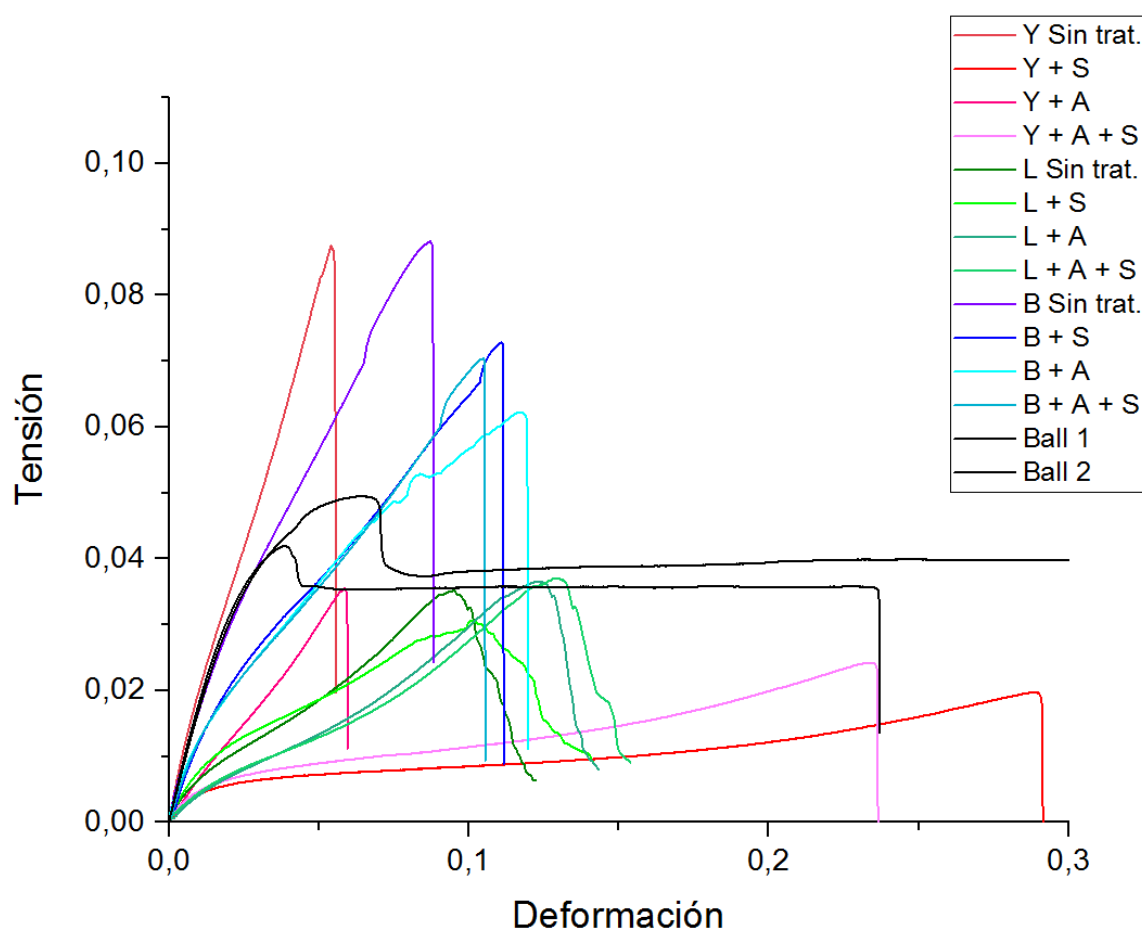


Gráfico 7. Resultado ensayos de tracción de las muestras realizadas y de las ballenas comercializadas.

Los ensayos de tracción analizados mostraron una deformación excesiva en los compuestos de yute tratados con silanos (Y+S, Y+A+S), que provocaron módulos de elasticidad muy bajos.

En los tejidos de lino (L), el módulo y la tensión soportada, también resultaron inferiores a los deseados para alcanzar los obtenidos con las ballenas de nylon.

Los resultados de tracción que se podrían considerar más acertados, corresponderían a los compuestos de bambú (B) y al compuesto de yute sin tratar (Y Sin trat.).

Análisis de la fractura del composite y la interacción de fibra- matriz mediante SEM

La morfología de la superficie de fractura de las probetas del composite se evaluó con el microscopio electrónico de barrido (SEM), marca FEI, modelo PHENOM (Figura 14), con un voltaje de aceleración de 5 KV y un recubrimiento de Oro/Paladio (Figura 15) y se realizó sobre las muestras de compuesto rotas en las pruebas mecánicas para ver la interacción entre fibra y matriz en los compuestos más representativos. Se observaron los compuestos formados por film de bio polietileno y tejido de bambú sin tratar y con tratamiento alcalino.

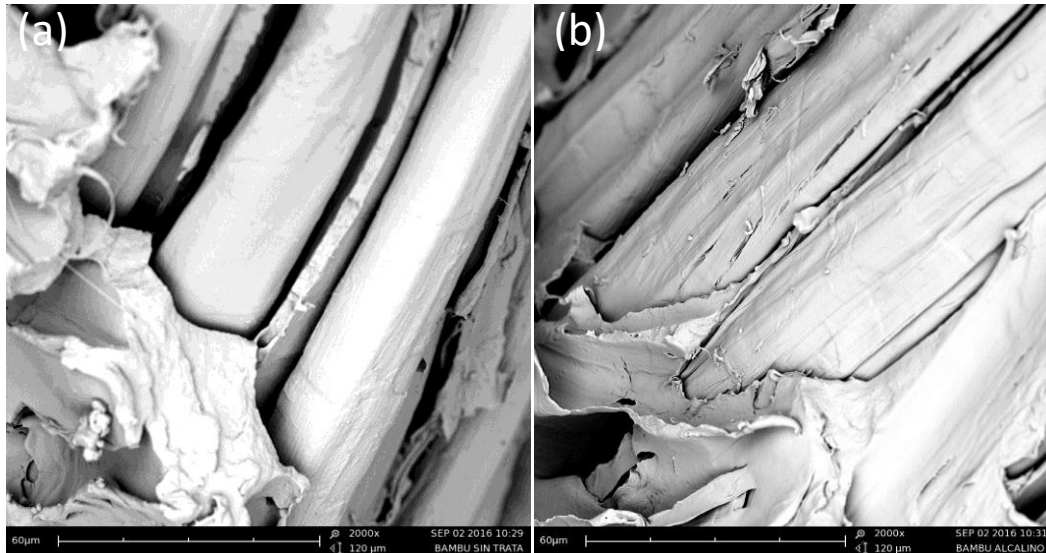


Figura 20. Imagen SEM de la fractura del compuesto de bio polietileno y bambú sin tratamiento(a) y con tratamiento alcalino (b) x2000 aumentos.

La observación mediante microscopía de los compuestos de bambú sin tratamiento y con tratamiento alcalino (Figura 20) mostró que la interacción entre la fibra y la matriz aumentó gracias al tratamiento utilizado. Se observó que la superficie más rugosa de la fibra permitió que el espacio entre el polímero y la fibra disminuyera.

Se concluye de este primer ensayo que los compuestos formados con tejido de lino quedan descartados por la mala interacción de fibra y matriz, además, el aspecto acartonado le da poco parecido a las ballenas y no resulta útil para las necesidades a cubrir.

En el tejido de yute el tratamiento de silanos, como vemos en los ensayos de ángulo de contacto, no dio los resultados esperados, en cuanto aumentar la hidrofobicidad, y en los ensayos mecánicos provocaron un alargamiento indeseado del material.

Por ello se tendrá en cuenta tejido de yute, sin tratar y con alcalino, y cualquiera de los compuestos con tejido de bambú .

Los ensayos de tracción con los diferentes tratamientos de bambú no mostraron demasiadas diferencias entre ellos y en cuanto a la silanización en el bambú, resulta un tratamiento más caro que el alcalino y la visión microscópica de las fibras mostró poca adhesión de estos agentes, en comparación del yute y el lino que se observaba en mayor porcentaje.

En el siguiente ensayo se decidirá entre uno de ellos.

3.2 Aplicación del diseño de experimentos (DoE) para la optimización de fibra-tratamiento para Green composites de bio polietileno.

3.2.1 Resumen

En este estudio se creó un diseño de experimentos (DoE), para optimizar un compuesto creado por termocompresión y con matriz de bio polietileno. Se pretendía utilizar distintos elementos de refuerzo como son los tejidos de yute, lino y bambú con varios tratamientos (alcalino y silanización) para encontrar el más adecuado para las necesidades a cubrir.

3.2.2 Introducción

El anterior ensayo se optimizó mediante el diseño de experimentos, para ello se utilizó el software Statgraphics Centurion.

Primero se estableció la secuencia de pruebas con matriz de bio polietileno y varios tipos de fibras y tratamientos.

Las variables respuesta a valorar fueron: Resistencia máxima (MPa), Módulo de Young (MPa) y Módulo específico (MPa).

El objetivo era determinar la mejor fibra y tratamiento, para obtener los resultados más parecidos a los obtenidos anteriormente en las ballenas ensayadas.

Para ello se introdujeron los factores experimentales categóricos:

- Fibra: Y (yute), L (lino) y B (bambú)
- Tratamiento: St (sin tratamiento), S (silano), A (alcalino) y SA (silano y alcalino)

El tipo de diseño utilizado fue factorial, con 2 replicaciones (en total se realizaron 3 muestras por cada fibra-tratamiento). El resultado fue un diseño con 36 ejecuciones.

El objetivo fue maximizar nuestras variables respuesta, para ello se utilizaron los datos obtenidos en la máquina de ensayos universal en un ensayo de tracción con una célula de 5 KN.

Los resultados de la Tabla 10 fueron analizados y se observaron los factores por separado para poder encontrar la combinación óptima.

Bloque	Fibra	Tratamiento	Resistencia Máxima	Módulo Young	Módulo específico
1	Y	St	42,36	855,47	933,626375
1	Y	S	20,4	707,96	720,38043
1	Y	A	45,43	2213,9	2563,57457
1	Y	SA	27,18	844,37	815,651985
1	L	St	35,17	1395,6	1379,82362
1	L	S	33,77	2302,4	2629,9753
1	L	A	36,55	374,08	394,720901
1	L	SA	33,74	549,97	583,188396
1	B	St	79,26	3250,6	2916,14871
1	B	S	72,79	1216,4	1158,36095
1	B	A	59,25	1997,4	1474,77977
1	B	SA	70,35	990,53	918,732223
2	Y	St	46,14	1530,9	1670,76416
2	Y	S	19,99	496,38	505,088477
2	Y	A	46,93	2840,0	3288,56398
2	Y	SA	24,22	747,56	722,134607
2	L	St	36,46	370,52	366,331505
2	L	S	33,65	1038,2	1185,91051
2	L	A	31,69	1045,8	1103,50491
2	L	SA	34,16	712,07	755,079298
2	B	St	84,05	2471,4	2217,11989
2	B	S	78,4	2785,7	2652,7837
2	B	A	62,22	2347,3	1733,12834
2	B	SA	69,99	1147,2	1064,04612
3	Y	St	39,78	1843,4	2011,81439
3	Y	S	19,68	347,31	353,403197
3	Y	A	35,5	866,7	1003,59099
3	Y	SA	26,91	962,61	929,870504
3	L	St	37,01	761,28	752,67421
3	L	S	30,58	1204,6	1375,98516
3	L	A	31,27	953,38	1005,98538
3	L	SA	37,05	779,35	826,423035
3	B	St	88,1	2724,5	2444,17866
3	B	S	80,33	911,30	867,818426
3	B	A	58,8	1123,2	829,314427
3	B	SA	57,91	2762,6	2562,35514

Tabla 10. Factores experimentales y variables respuestas introducidas en el software StatGraphics Centurion para analizar los datos

Modelo	Resistencia max.	Módulo Young	Módulo Específico
Transformación	ninguno	Ninguno	ninguno
Modelo d.f.	23	23	23
P-valor	0,0000	0,1182	0,1717
Error d.f.	12	12	12
Std. error	3,94725	654,514	669,553
R-cuadrado	98,69	78,74	76,47
Adj. R-cuadrado	96,18	38,00	31,37

Tabla 11. Análisis del resultado del experimento

3.2.3 Resultados por variables respuesta

Con los datos obtenidos observamos que factores individuales, o interacciones a dos niveles, influyen a nuestras variables respuesta.

Para la variable respuesta Resistencia Máxima (Tabla 13), los P-Valores inferiores a 0,05 muestran la fibra, el tratamiento y la relación entre ambas que afectan a los resultados que se obtienen en la resistencia máxima.

El gráfico de interacciones (Gráfico 8) nos muestra claramente resultados superiores en el caso del bambú como se puede verificar en el diagrama de medias (Gráfico 9). El gráfico de medias nos dice que hay poca variabilidad en los datos como se observa en la Tabla 11 con un R-cuadrado muy cercano al 100%

En el análisis del módulo Young influye más la fibra que el tratamiento utilizado, que no tiene relevancia para mejorar los datos al tener un P-Valor superior a 0,05 (Tabla 14)

El gráfico de interacciones (Gráfico 10) muestra mayores valores de Young en el bambú con un pequeño pico máximo también en el yute-alcalino.

Para el módulo específico es relevante la interacción entre fibra y tratamiento (Tabla 15), el gráfico de interacciones y el de medias (Gráfico 12, Gráfico 13) nos muestran mucha variabilidad en los datos y resultados más parecidos en las diferentes fibras y tratamientos aún así los módulos específicos del bambú son ligeramente superiores al resto ,exceptuando de nuevo al yute con tratamiento alcalino que presenta un pico.

3.2.4 Optimización y conclusiones

Con el anterior análisis se determinaron que los valores más elevados en todas las variables respuesta se presentan en los compuestos con fibra de bambú. Se utilizó la optimización del programa para obtener los resultados mostrados en la Tabla 12.

Nos muestran, con un 69,86% de deseabilidad, la mejor fibra y tratamiento para obtener mayores valores en nuestras variables respuesta, siendo la mejor opción el composite de bambú con un tratamiento alcalino.

Con estos resultados se decidió utilizar esta combinación en los siguientes ensayos.

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Límite	Superior 95,0% Límite	Deseabilidad
Resistencia max.	si	38,7619	31,7398	45,7841	0,812993
Módulo Young	si	1535,63	371,256	2700,01	0,775097
Módulo Especifico	si	1321,94	130,808	2513,08	0,541153

Deseabilidad optimizada = 0,698641

Factor	Establecimiento
Fibra	B
Tratamiento	A

Tabla 12. Valores respuesta y optimización del experimento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:BLOQUE	26,0392	2	13,0196	0,84	0,4573
B:Fibra	11697,6	2	5848,8	375,39	0,0000
C:Tratamiento	798,468	3	266,156	17,08	0,0001
INTERACCIONES					
AB	33,7237	4	8,43092	0,54	0,7087
AC	65,5823	6	10,9304	0,70	0,6543
BC	1465,1	6	244,183	15,67	0,0000
RESIDUOS	186,97	12	15,5808		
TOTAL (CORREGIDO)	14273,5	35			

Tabla 13. Análisis de Varianza para Resistencia máx. (Suma de Cuadrados Tipo III)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:BLOQUE	224449,	2	112224,	0,26	0,7738
B:Fibra	6,86719E6	2	3,4336E6	8,02	0,0062
C:Tratamiento	2,23044E6	3	743480,	1,74	0,2129
INTERACCIONES					
AB	637605,	4	159401,	0,37	0,8241
AC	3,46048E6	6	576747,	1,35	0,3105
BC	5,62368E6	6	937280,	2,19	0,1170
RESIDUOS	5,14066E6	12	428388,		
TOTAL (CORREGIDO)	2,41845E7	35			

Tabla 14. Análisis de Varianza para Módulo Young. (Suma de Cuadrados Tipo III)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:BLOQUE	228430,	2	114215,	0,25	0,7792
B:Fibra	3,06056E6	2	1,53028E6	3,41	0,0671
C:Tratamiento	1,92694E6	3	642315,	1,43	0,2818
INTERACCIONES					
AB	746446,	4	186611,	0,42	0,7938
AC	3,3285E6	6	554750,	1,24	0,3536
BC	8,19233E6	6	1,36539E6	3,05	0,0476
RESIDUOS	5,37962E6	12	448302,		
TOTAL (CORREGIDO)	2,28628E7	35			

Tabla 15. Análisis de Varianza para Módulo Especifico. (Suma de Cuadrados Tipo III)

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

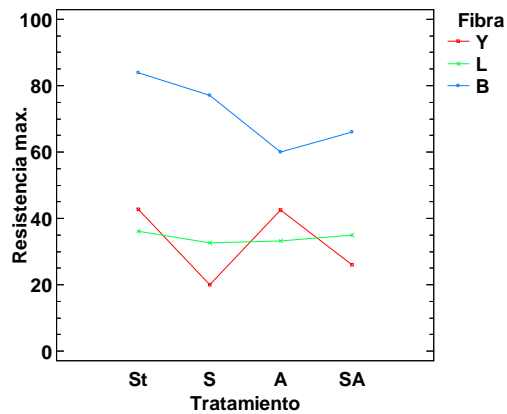


Gráfico 8. Gráfico de interacciones para Resistencia máxima.

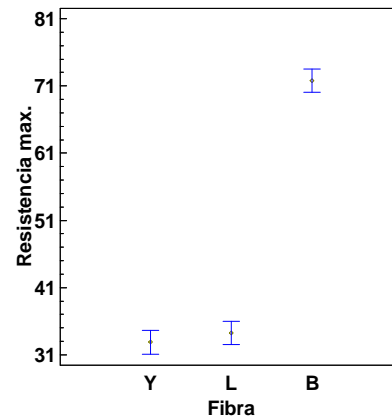


Gráfico 9. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Resistencia máxima.

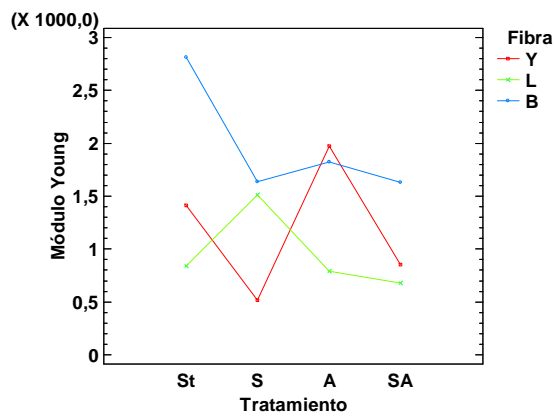


Gráfico 10. Gráfico de interacciones para Módulo Young.

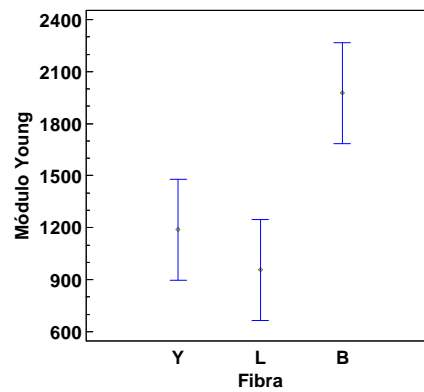


Gráfico 11. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Módulo Young.

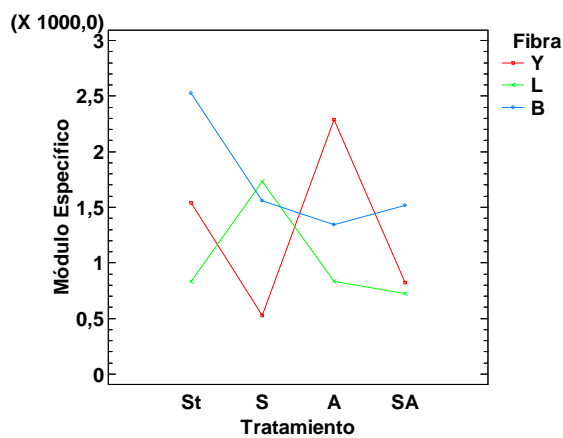


Gráfico 12. Gráfico de interacciones para Módulo específico.

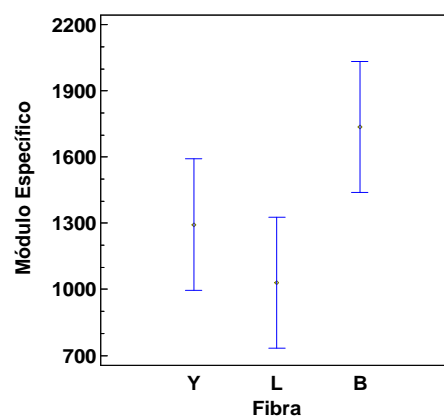


Gráfico 13. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Módulo específico.

3.3 Mejora de prestaciones mecánicas de compuesto de bambú con tratamiento alcalino mediante la introducción de tejido de refuerzo de fibra de carbono y basalto, utilizando el software eLamX

3.3.1 Resumen

En este ensayo se creó un compuesto mediante el software eLamX, para después ejecutarlo y caracterizarlo.

Para ello se introdujeron tejidos de basalto y carbono al compuesto de bambú con tratamiento alcalino y matriz de bio polietileno ensayados con anterioridad, para mejorar sus prestaciones mecánicas.

3.3.2 Introducción

En ensayos anteriores se evaluaron diferentes tejidos de origen natural con tratamientos para mejorar la interacción entre fibra y matriz y encontrar el mejor sustituto a las ballenas actuales.

Los resultados del tejido de bambú, junto con un tratamiento alcalino, se aproximaron a nuestros objetivos, pero no resultaron completamente satisfactorios, por ello, se procedió a introducir un nuevo material que lograra mejorar las propiedades mecánicas.

Para mejorar el composite se generaron compuestos de basalto y carbono con matriz de bio polietileno para obtener nuevos datos mecánicos e introducir los parámetros, junto con los obtenidos de los compuestos de fibras naturales, en software específico para la creación teórica de compuestos mediante laminado.

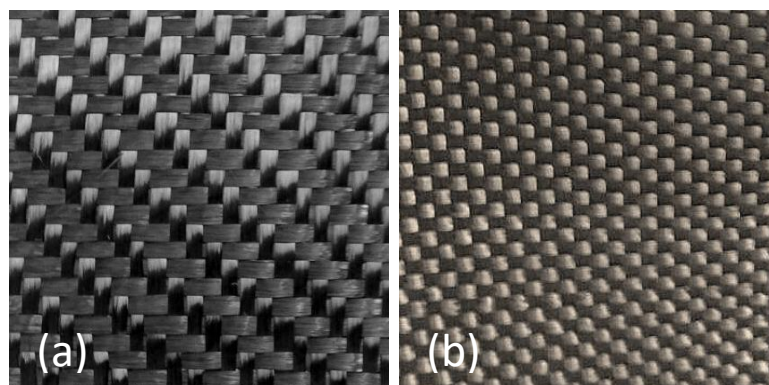


Figura 21. Tejido de fibra de carbono (a) y basalto (b) utilizados en la creación del composite.

Se utilizó el software de creación de composites eLamX para combinar diversas capas de estos tejidos y encontrar mejores prestaciones mecánicas.

Con los datos obtenidos se procedió a la creación de un compuesto con las capas desarrolladas en el programa.

3.3.3 Compuesto teórico mediante eLamX

Se realizaron varias combinaciones de tejidos mediante laminado, utilizando los tejidos de bambú con tratamiento alcalino, basalto y carbono y también se probó a cambiar los ángulos del tejido pero no se observaron diferencias.

El bambú fue elegido por sus resultados óptimos en el diseño de experimentos.

Laminado Bambú - Carbono [0 ₂ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Basalto	0	0,39
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 16. Composición laminado Bambú - Carbono

		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E _x	=	3433,5	2373,0	2956,0	1885,8
E _y	=	3433,5	2373,0	2956,0	1885,8
G _{xy}	=	1076,6	648,9	1076,6	648,9
v _{xy}	=	-	-	0,373	0,453
v _{yx}	=	-	-	0,373	0,453
t _{tot}	=	1,67			
Area Weight	=	2,2428E-9			

Figura 22. Constant Engineering para laminado Bambú -Carbono [0₂/0]s

Laminado Bambú - Carbono [0 ₃ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Basalto	0	0,39
Bambú Alcalino	0	0,32
Basalto	0	0,39
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 17. Composición laminado Bambú - Carbono

		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E _x	=	3885,9	2774,3	3404,4	2295,3
E _y	=	3885,9	2774,3	3404,4	2295,3
G _{xy}	=	1259,0	810,7	1259,0	810,7
v _{xy}	=	-	-	0,352	0,416
v _{yx}	=	-	-	0,352	0,416
t _{tot}	=	2,38			
Area Weight	=	3,1896E-9			

Figura 23. Constant Engineering para laminado Bambú - Carbono [0₃/0]s

Laminado Bambú - Basalto [0 ₂ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Carbono	0	0,43
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 18. Composición laminado Bambú - Basalto

		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E _x	=	2899,7	2349,0	2534,0	1869,5
E _y	=	2899,7	2349,0	2534,0	1869,5
G _{xy}	=	934,9	643,8	934,9	643,8
v _{xy}	=	-	-	0,355	0,452
v _{yx}	=	-	-	0,355	0,452
t _{tot}	=	1,71			
Area Weight	=	2,1236E-9			

Figura 24. Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto [0₂/0]s

Laminado Bambú - Basalto [0 ₃ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Carbono	0	0,43
Bambú Alcalino	0	0,32
Carbono	0	0,43
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 19. Composición laminado Bambú - Basalto

	without Poisson		with Poisson	
	Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	= 3129,2	2564,7	2798,8	2135,7
E_y	= 3129,2	2564,7	2798,8	2135,7
G_{xy}	= 1056,2	757,8	1056,2	757,8
ν_{xy}	= -	-	0,325	0,409
ν_{yx}	= -	-	0,325	0,409
t_{tot}	=	2,46		
Area Weight	=	2,9512E-9		

Figura 25. Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto [0₃/0]s

Laminado Bambú -Basalto-Carbono [0 ₃ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Carbono	0	0,43
Basalto	0	0,39
Carbono	0	0,43
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 20. Composición laminado Bambú - Basalto - Carbono

	without Poisson		with Poisson	
	Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	= 3846,9	2602,8	3496,4	2178,3
E_y	= 3846,9	2602,8	3496,4	2178,3
G_{xy}	= 1342,9	775,8	1342,9	775,8
ν_{xy}	= -	-	0,302	0,404
ν_{yx}	= -	-	0,302	0,404
t_{tot}	=	2,53		
Area Weight	=	3,034E-9		

Figura 26 Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto- Carbono [0₃/0]s

Laminado Bambú-Carbono-Basalto [0 ₃ /0]s		
Material	Ángulo	Grosor
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32
Basalto	0	0,39
Carbono	0	0,43
Basalto	0	0,39
Bambú Alcalino	0	0,32
Bambú Alcalino	0	0,32

Tabla 21. Composición laminado Bambú - Carbono - Basalto

	without Poisson		with Poisson	
	Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	= 4220,1	2850,3	3800,1	2374,5
E_y	= 4220,1	2850,3	3800,1	2374,5
G_{xy}	= 1444,4	842,9	1444,4	842,9
ν_{xy}	= -	-	0,315	0,409
ν_{yx}	= -	-	0,315	0,409
t_{tot}	=	2,49		
Area Weight	=	3,1532E-9		

Figura 27. Constant Engineering para laminado Bambú - Carbono - Basalto [0₃/0]s

Los resultados obtenidos en eLamX mostraron una mejora en el módulo elástico al introducir una capa de basalto o de carbono, logrando resultados superiores a los 1822 MPa mostrados en el módulo de elasticidad del compuesto de bambú alcalino, y llegando a superar los 2000 MPa cuando se introducían dos capas.

Los mayores resultados se obtuvieron al realizar una combinación de ambos, obteniendo un laminado con basalto y carbono en el centro. Siendo mejores, a mayor proporción de carbono (Tabla 21 y Figura 25).

3.3.4 Compuesto

En estudios anteriores se concluyó que el tejido de bambú con tratamiento alcalino mostraba mejores los resultados, por lo que se procedió a tratar el tejido como se había hecho con anterioridad: con un tratamiento alcalino.

Pretratamiento: disolución 90% acetona durante 45 minutos, dejar secar a temperatura ambiente y secar en estufa a 60°C durante 2 horas.

Tratamiento: Sumergir el tejido de bambú en solución acuosa con un 10% de NaOH durante 90 minutos. Pasado este tiempo se lavó en agua destilada abundante y se dejó secar a temperatura ambiente.

Creación del composite: Como el análisis en eLamX mostró mejores propiedades utilizando 2 capas de fibra de carbono y 1 de basalto en el interior del compuesto de bambú, se realizó el compuesto con las siguientes capas:

- 2 capas bio polietileno
- 1 capa bambú
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa bambú
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa carbono
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa basalto
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa carbono
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa bambú
- 1 capa bio polietileno
- 1 capa bambú
- 2 capas bio polietileno

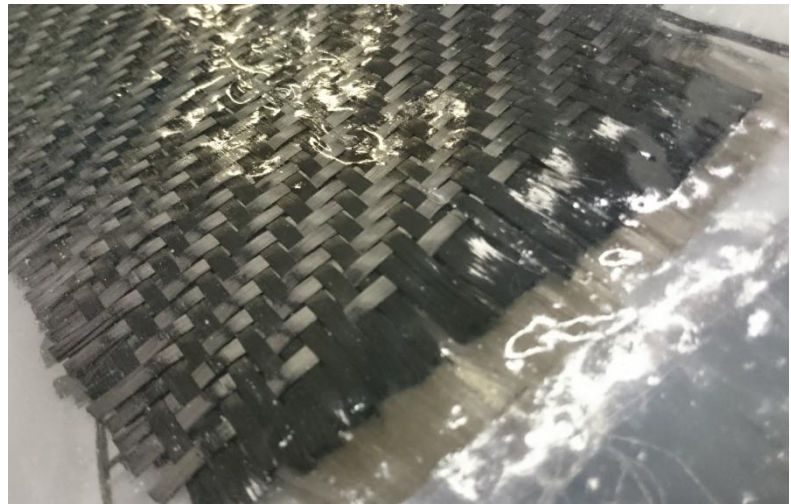


Figura 28. Proceso de superposición de láminas de tejido y de bio polietileno para crear el composite.

Las probetas se prepararon mediante termocompresión con prensa de platos calientes. La prensa utilizada ha sido una prensa Robima de 10Tn.

Se programó a 185°C con una presión entre 8-9 MPa y se aumentó el tiempo de aplicación a 4 minutos debido al incremento de capas.

3.3.5 Resultados y discusión.



Figura 29. Compuesto creado con interior de fibra de carbono y basalto.

Caracterización mecánica del composite

Las pruebas de caracterización mecánica del material fueron realizadas con la máquina electromecánica de tracción Elib50 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España).

El ensayo de flexión se llevó a cabo a temperatura ambiente y con una célula de carga de 5 kN, tal y como dicta la normativa UNE-EN ISO 14125. “Compuestos plásticos reforzados con fibras. Determinación de las propiedades de flexión” y con el acople específico para ensayos a flexión (Figura 30).

El ensayo de tracción siguió las directrices de la normativa UNE-EN ISO 527-4:1997. “Plásticos. Determinación de las propiedades de tracción. Parte 4: condiciones de ensayo para plásticos compuestos isotrópicos y ortotrópicos reforzados con fibras”. Se utilizó el soporte para ensayo de tracción (Figura 31) y una célula de carga de 5kN, con una velocidad de aplicación de la carga de 5mm por minuto.

Para la realización de dichos ensayos se utilizaron 3 probetas de cada muestra y se obtuvo el valor promedio.



Figura 30. Equipo de tracción universal ELIB 50 con el acople de flexión.



Figura 31. Equipo de tracción universal ELIB 50 con el acople de tracción.

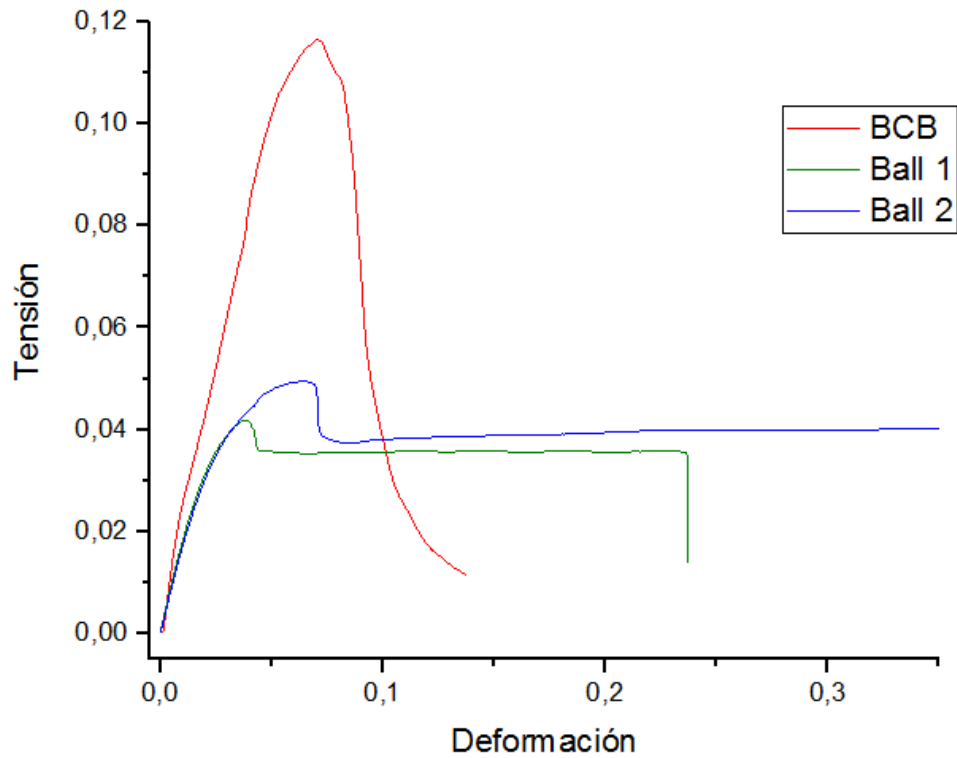


Gráfico 14. Resultado ensayos de tracción de la muestra realizada y de las ballenas de poliamida.

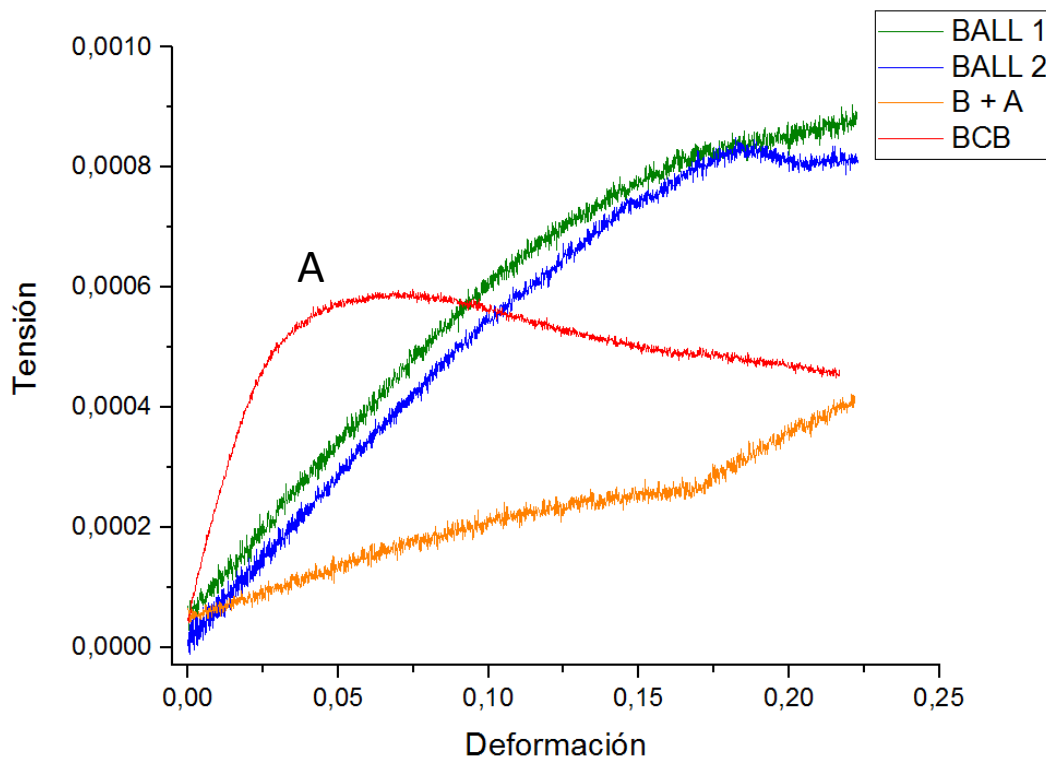


Gráfico 15. Resultado ensayos de flexión de la muestra realizada y de las ballenas comercializadas junto con los resultados del compuesto de solo bambú con tratamiento alcalino con matriz de bio polietileno.

Los ensayos de tracción (Gráfico 14) mostraron que la incorporación de tejido de carbono y basalto, aumentó considerablemente la resistencia del compuesto (121,82 MPa de resistencia máxima). El gráfico muestra un aumento en de la carga soportada en más del 120% y mayor módulo Young, como ya indicaban los resultados teóricos de eLamX, pero se alejaron mucho de los ensayos en ballenas de poliamida (51,49 MPa resistencia máxima).

Esto no sería un problema si no fuera porque también presentó problemas de interacción entre la fibra y la matriz, rompiéndose las 3 probetas de BCB por la parte de la mordaza, solo en la parte de tejido de bambú, dejando expuesto el tejido de fibra de carbono.

En los ensayos de flexión todas las probetas ensayadas mostraron un radio de deformación muy amplio que provocó que no llegaran a romper y se debiera parar el ensayo manualmente.

En el Gráfico 15 se muestran los resultados del compuesto de BCB y de las ballenas de poliamida, junto con el del compuesto de bambú de tratamiento alcalino que no se había ensayado a flexión en estudios anteriores.

Los ensayos de flexión mostraron curvas dispares respecto a las ballenas de nylon, ni BCB ni bambú se parecen. logran resultados parecidos

El punto A en el compuesto BCB indica el fin la zona elástica del compuesto y nos muestra que necesita menor esfuerzo y deformación que las ballenas de poliamida para sufrir una deformación que no permita recuperar la forma inicial.

Si observamos la Figura 32 podemos ver como las probetas utilizadas en los ensayos de BCB sufrieron daños irreversibles de deformación que no se dan en el caso del bambú o en las ballenas de poliamida.

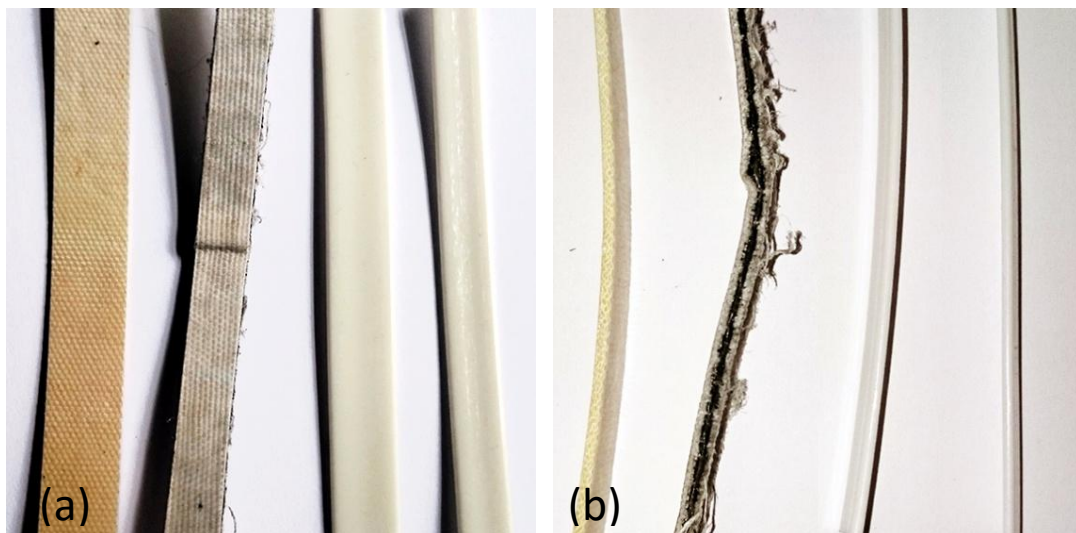


Figura 32. Fotografías de las probetas ensayadas a flexión mostrando los daños producidos durante el ensayo. La imagen (a) muestra las probetas de frente y la imagen (b) el perfil. De izquierda a derecha las probetas corresponden a: Compuesto de bambú con tratamiento alcalino y matriz de bio polietileno, compuesto de bambú con interior de carbono y basalto con matriz de bio polietileno y ballenas de distintas medidas de nylon.

El compuesto de bambú mostró menos resistencia a la flexión que las otras probetas, pero mayor zona elástica que el compuesto BCB, que le permitió recuperar casi completamente la forma después del ensayo.

Los datos obtenidos en el ensayo no mostraron la curva completa, ni el fin de la zona elástica, en la ballena de poliamida, pero no fue posible seguir con el ensayo por el amplio radio de deformación. De todos modos se observa que aceptan mayor carga y deformación y después del ensayo recuperan fácilmente su forma original.

Durante el ensayo se observó que la cantidad de matriz dentro del compuesto era insuficiente y junto con la falta de tratamiento de los tejidos de carbono y basalto provocó la mala interacción de fibra y matriz.

De los problemas observados en el composite y con los resultados de los ensayos mecánicos, se concluyó que añadir tejido de carbono y basalto, provocando la incorporación de un material no biodegradable a nuestro green composite, no tiene un efecto significativo para lograr nuestro objetivo, si bien aumenta la resistencia del compuesto, también lo aleja de la prestaciones de las ballenas de poliamida, por lo cual se debería buscar otro método de mejorar las propiedades que no fuera introduciendo materiales no biodegradables.

3.4 Prototipo

Se confeccionó un corsé underbust (corsé por debajo del pecho) para poder introducir los compuestos ensayados y ver su funcionalidad.

El prototipo se realizó mediante técnicas de confección propias de la corsetería, se utilizó como tejido exterior una loneta negra de algodón con ligamento de sarga, entretela negra termo adhesiva como refuerzo y, para cubrir las ballenas, un bias de batista negro.

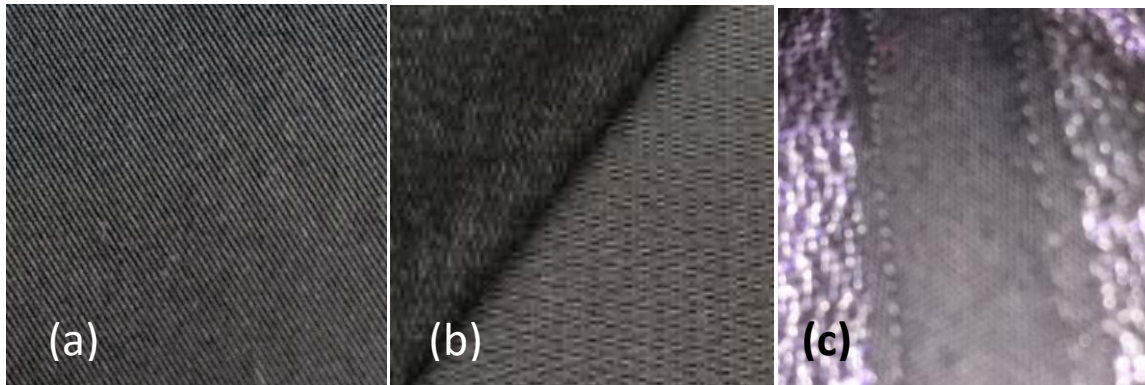


Figura 33. Loneta negra utilizada como tejido principal del corsé (A), entretela (B) y bias de batista (C).



Figura 34. Corsé cortado antes de coser.

Las ballenas utilizadas fueron muestras del compuesto BCB cortadas en tiras de 0,9 mm y del largo necesario para la prenda.

Como cierre se utilizó una cremallera en el delantero y en el centro de la espalda se colocaron ojeteros con arandelas para pasar una cinta.







Nº	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA	DENOMINACIÓN	TIPO DE MAQUINA	TIEMPO	OBSERVACIONES
1	Entretelar todas las piezas			Plancha	30'	Entretelar por el revés del tejido
2	Juntar todas las piezas menos CE y cremallera		301	Plana	25'	0,5 cm borde, puntada 3m
3	Cremallera		300	Plana	15'	
4	Poner bias batista		300	Plana	70'	0,2 cm borde, puntada 4 mm
5	Bies espalda y cremallera		300	Plana	20'	
6	Bies superior batista		300	Plana	15'	
7	Colocar ballenas			-	30'	Redondear extremos
8	Bies inferior batista		300	Plana	15'	
9	Poner ojetes			Remachadora	30'	Colocar arandela

Tabla 22. Lista de fases de confección del corsé.



Figura 35. Corsé con sus ballenas cortadas y preparadas para colocar en las fundas de bias.



Figura 36. Colocación del compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno en el interior del corsé para evaluar sus propiedades durante el uso.



Figura 37. Detalle del cierre de cremallera en el delantero y de los ojetes y lazada en la espalda.

DELANTERO

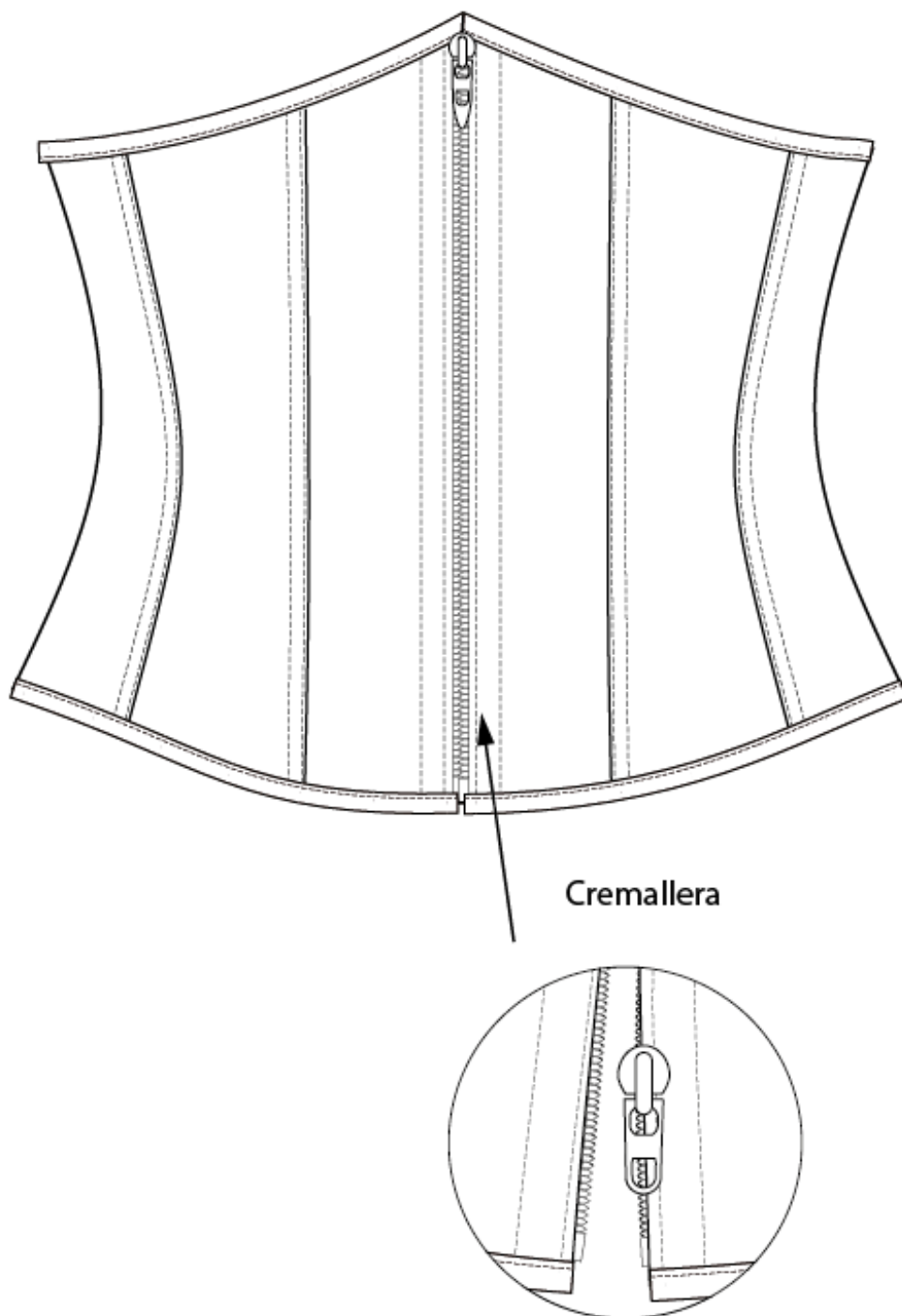


Figura 38. Dibujo plano del delantero del prototipo de corsé underbust.

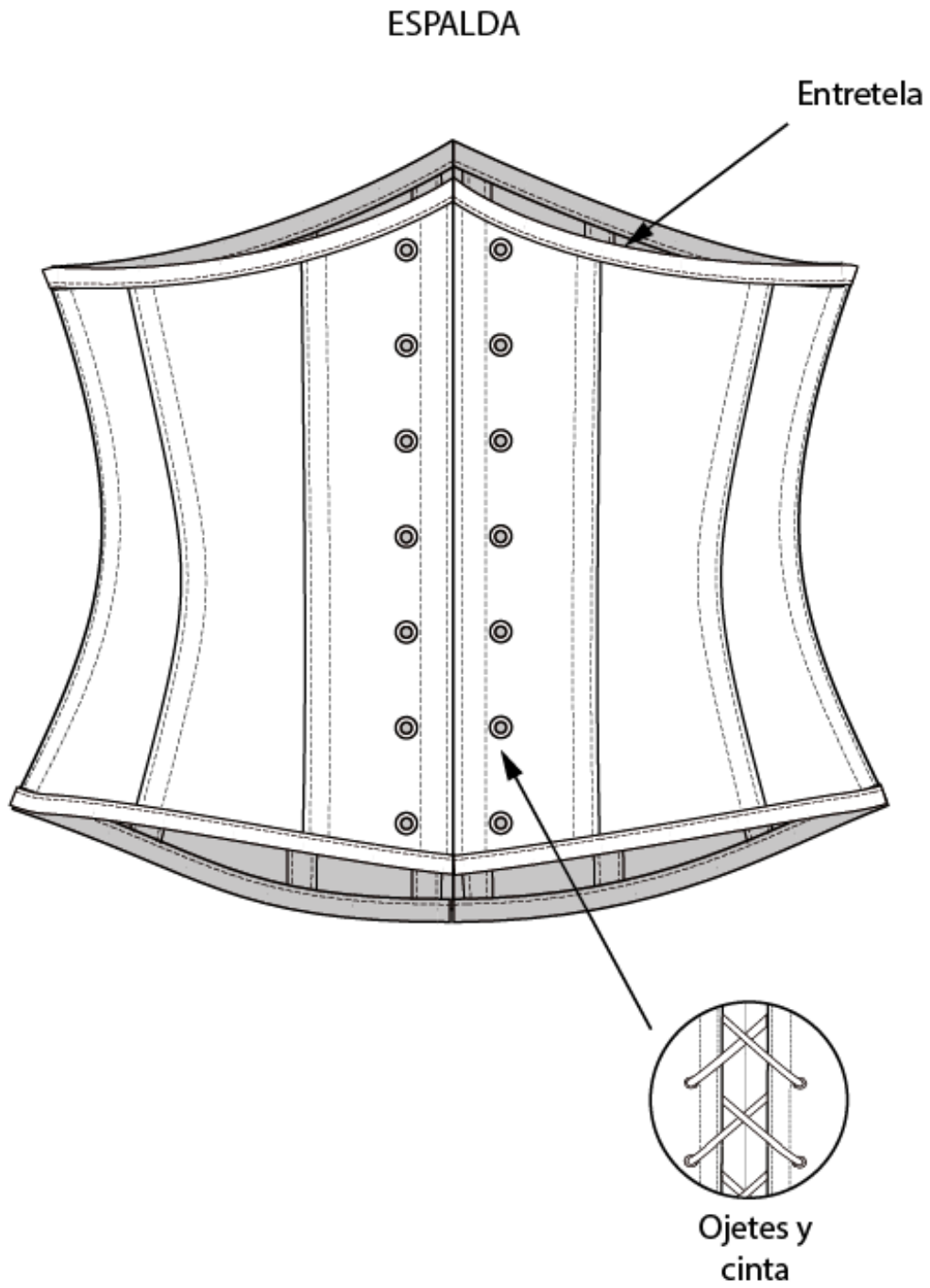


Figura 39. Dibujo plano de la espalda del prototipo de corsé underbust.



Figura 40. Corsé underbust con ballenas experimentales de material compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno. (Delantero)



Figura 41. Corsé underbust con ballenas experimentales de material compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno.(Espalda)

IV. CONCLUSIONES

El primer ensayo de mejora de composites de tejidos de fibras naturales con tratamientos como el alcalino y la silanización, en un compuesto formado por termocompresión con film de bio polietileno, mostró problemas de interacción entre fibra y matriz en los compuestos de lino, que no mejoraron con el tratamiento, además en una observación visual mostraron un aspecto acartonado que les daba poco parecido a las ballenas y no resultaba útil para las necesidades a cubrir.

Este ensayo incluyó la caracterización de ballenas de nylon para comparar con el resultado de los compuestos elaborados.

Los composites hechos de bambú, con sus diferentes tratamientos, se observaron más afines a nuestros objetivos, junto con el compuesto de yute sin tratar, ya que al parecer, en este tipo de tejido, los tratamientos no ayudaron a aumentar las propiedades del compuesto, sino al contrario, que las empeoraron, provocando el tratamiento del tejido de yute con silanos un alargamiento del material no deseado. Mecánicamente, estos primeros, mostraron a tracción módulos de Young bastante parecidos a los obtenidos en los ensayos de las ballenas de poliamida, además no presentaron problemas de interacción con la matriz.

Los ensayos de hidrofiliidad del tejido, mostraron que la fibra de bambú no lograba mejoras, por lo que creemos que el tratamiento no alcanzó los resultados esperados de transformar las fibras naturales en más hidrófobas, para que la energía superficial de la fibra fuera más afín con la matriz de bio polietileno, pero si se observó mediante microscopia una buena interfase, aumentada gracias al tratamiento alcalino, que mostró mejor unión con el bio polietileno. Este compuesto resistió bien los esfuerzos de tracción y no se separaron las capas del laminado como se había visto en los compuesto de lino.

Se cree que parte de las mejoras presentadas en el bambú, tanto visualmente como mecánicamente, se debieron al tratarse de un tejido con mayor densidad en trama y urdimbre y con hilos con un título menor (teniendo en cuenta el sistema directo de numeración de hilos) que provee al material de mayor estabilidad dimensional.

De este apartado se concluye que los mejores resultados se obtienen de los tejidos de bambú, sin excluir el yute sin tratar. Creemos que se deberían probar también otros tratamientos, como los tratamientos físicos de plasma, y realizarlos también en el film para poder obtener mejores resultados.

En el segundo estudio se utilizó el software StatGraphics Centurion para determinar la mejor fibra y tratamiento. Se compararon los resultados de los ensayos a tracción de los diferentes composites creados en el primer ensayo. El resultado óptimo se encontró entre el grupo con mejores resultados observados anteriormente, dando como más adecuado el green composite de tejido de bambú con tratamiento alcalino, con matriz de bio polietileno.

El tercer ensayo se realizó para lograr mayor parecido del compuesto a las necesidades a cubrir.

Después de realizar un compuesto teórico y valorar sus propiedades con el software de creación de laminados, eLamX, se procedió a su realización y caracterización.

El compuesto realizado con bambú, carbono y basalto (BCB), presentó problemas de interacción fibra-matriz por lo que se concluye que se deberían modificar los parámetros en la máquina de termocompresión (temperatura, tiempo y presión) y realizar tratamientos para los nuevos tejidos incorporados, además de cambiar el porcentaje de polímero introducido para poder aumentar la unión interfacial.

La introducción de estos tejidos no biodegradables no logró los resultados esperados, tanto la apariencia como los ensayos mecánicos, demostraron un alejamiento de las características de las ballenas de poliamida.

En la realización del prototipo de corsé con el compuesto de BCB se observan los problemas de rigidez y la poca zona elástica de este compuesto, que se había observado en los ensayos de flexión, por lo que no cumplió las funciones al mismo nivel que una ballena de nylon.

Dado que la intención del proyecto era la creación de un compuesto con materiales biodegradables o que se pudieran reciclar fácilmente, se concluye que, teniendo en cuenta que el compuesto de bambú con polietileno daba mejores resultados, no se debería seguir investigando en este sentido, ya que la incorporación del basalto y carbono no logró los resultados esperados.

Para siguientes ensayos se sugiere seguir con los materiales con mejores resultados, utilizados en el primer estudio, ensayando de nuevo el tejido de bambú y cambiando el polímero utilizado, el porcentaje introducido e incluso la combinación de nuevas matrices junto con la ya utilizada de bio polietileno.

También se concluye que se debería probar con otros sistemas de creación de compuestos ya que este sistema no dio los resultados óptimos.

Una de los posibles ensayos a realizar en un futuro, trataría la formación de compuestos por inyección, ya que puede ser más cercano al actual sistema de creación de las ballenas de nylon, y permitiría cambiar fácilmente la poliamida por otro polímero biodegradable como PLA o bio polietileno, ya utilizado en este proyecto, o probar combinaciones de ambos que logran prestaciones más parecidas, además al incluir el elemento de refuerzo como fibra o fibra molida se conseguiría disminuir los problemas de unión con la matriz y además se obtendría un compuesto que no presentaría problemas en el lavado de la prenda.

Esta vía se consideró al principio de este proyecto, pero se optó por incorporar mayor material textil utilizando el método de termocompresión e intentar encontrar un material que no fuera tan parecido al existente, intentando innovar en el método de creación, pero se ha visto que no se han logrado los resultados deseados, a pesar de que tampoco podemos considerar un

fracaso, ya que se cree que con más tiempo y ensayos con el bambú y mezcla de diferentes polímeros como matriz se podría llegar a conseguir.

Aún así se debería tener en cuenta que este método de creación, con los utensilios de que se dispone, al no crear el compuesto en su tamaño de utilización y cortarlo con posterioridad, se deja expuesto el material de fibra natural y con el tiempo podría presentar problemas por absorción de agua.

En resumen:

- Se han logrado probetas con cierto parecido a las ballenas de nylon pero no suficiente satisfactorias.
- El compuesto de bambú con tratamiento alcalino muestra mejores prestaciones que utilizando los tejidos de yute o lino.
- El tratamiento alcalino en el tejido de bambú ayudó a mejorar la interacción con la matriz de bio polietileno.
- Se descartan los tejidos no biodegradables de carbono y basalto ya que no han mostrado ser útiles al fin pretendido.
- Se proponen nuevas técnicas de desarrollo para seguir la investigación y nuevos materiales como el sistema de inyección o introducir matriz de PLA en el compuesto.

V. BIBLIOGRAFÍA

Akil, H., Omar, M., Mazuki, A., Safiee, S., & Ishak, Z. A. (2011). Kenaf fiber reinforced composites: A review. *Materials & Design*, 32, 4107-4121.

Alvarez, C., Gañan, P., Arboleda, C., & Mejia, A. (2007). Desarrollo de materiales compuestos a partir de fibras de plátano modificadas con enzimas ligninolíticas. *Scientia et Technica Año XIII*, 725-730.

Anandjiwala, R., Hunter, L., Kozlowski, R., & Zaikov, G. (2007). *Textiles for sustainable development*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Arevalo, K. (1996). Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo. *Universidad Autónoma de Nuevo León*.

Belgacem, M., Bataille, P., & Sapieha, S. (1994). Effect of corona modification on the mechanical properties of polypropylene/cellulose composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 53, 379-385.

Belmares, H., Barrera, A., Castillo, E., Monjaras, M., & Tistan, M. (1979). Industrialización de los recursos vegetales de las zonas áridas y semiáridas de América del Norte. *Fibras vegetales duras. Interciencia* 4, 320-325.

Berlanga, C., García, M., & González, L. (1992). Técnicas para el establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. *Folleto Divulgativo Num. 1. Instituto Nacional de Investigación Forestal*, 7.

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. Reverté.

Bioplastics Magazine. (s.f.). Recuperado el 2 de Julio de 2016, de www.bioplasticsmagazine.com/en/events/bioplastics_award_2011.php

Bioworks. (11 de Septiembre de 2013). Recuperado el 2016 de Junio de 23, de Spain Naturtechnology Group de www.bioworks.es/cat/noticies/europa-triplicara-su-produccion-de-bioplasticos-en-2020/

Bledzki, A., Fink, H., & Specht, K. (2004). Unidirectional hemp and flax EP- and PP-composites: influence of defined fiber treatments. *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 2150-2156.

Bledzki, A., Mamun, A. A., Jaszkiwicz, A., & Erdmann, K. (2010). Polypropylene composites with enzyme modified abaca fibre. *Composites Ciencia y Tecnología*, 70, 854-860.

Bledzki, A., Mamun, A., & Faruk, O. (2007). Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites. *eXPRESS Polymer Letters*, 1, 755-762.

Bledzki, A., Mamun, A., & Faruk, O. (2008). Influence of compounding processes and fibre length on the mechanical properties of abaca fibre–polypropylene composites. *Polimery*, 53, 35-40.

Bledzki, A., Mamun, A., Lucka-Gabor, M., & Gutowski, V. (2008). The effects of acetylation on properties of flax fibre and its polypropylene composites. *Express Polymer Letters*, 2, 413-422.

Braskem. (s.f.). Recuperado el 2 de Julio de 2016, de www.braskem.com/site.aspx/productos-verdes#

British Celanese. (1937). *Patente nº GB474696*.

Cain, S. (2013-2016). *Patente nº CN104582516 (A), CN104582516 (B), WO2013160665 (A1)*.

Corset Making. (s.f.). Recuperado el 28 de Noviembre de 2015, de <https://corsetmaking.com/>

Cruz-Morfin, R., Martínez-Tenorio, Y., & López-Malo, A. (2013). Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. *Temas Selectos en Ingeniería de Alimentos*, 7 - 2 , 42-52.

Curvelo, A., de Carvalho, A., & Agnelli, J. (2001). Thermoplastic starch–cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers*, 45 , 183-188.

DeSantis, P., & Bice, A. *Bordentown*.

Dipa, R., Sarkar, B., Rana, A., & Bose, N. (2001). Effect of alkali treated jute fibres on composites properties. *Bull Mater Sci*, 24 , 129-135.

Ecoembes. (2009). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos*. Catedra de ecoembes de medio ambiente.

ERCROS. (Enero de 2014). Los bioplásticos, nuevos materiales para un futuro más sostenible. *SmartQuimic* .

Estrada, A. (2008). *Polímeros biodegradables. Informe de vigilancia tecnológica (2005-2008)*. Observatorio del plástico. Informe técnico nº 6. Paterna: AIMPLAS.

Faruk, O., Bledzki, A., Fink, H., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37 , 1552-1596.

Fishman, M., Coffin, D., Onwulata, C., & Konstance, R. (2004). Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. *Carbohydrate Polymer*, 57 , 401-413.

Font, D., & Espino, S. (Septiembre de 2013). El auge de los bioplásticos al amparo de la sostenibilidad. *Infopack* .

Foot Print Network. (s.f.). Recuperado el 21 de Junio de 2016, de www.footprintnetwork.org

Fujii Takako Room No. (1992). *Patente nº EP0516994 (A1)*.

Fundación vida sostenible. (s.f.). *Vida sostenible*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de www.vidasostenible.org/indicadores/

Ganser, M. (1955). *Patente nº US 2852781 A*.

Gao, H., Xie, Y., Ou, R., & Wang, Q. (2012). *Grafting effects of polypropylene/polyethylene blends with maleic anhydride on the properties of the resulting wood–plastic composites* .

- Gassan, J., & Gutowski, V. (2000). Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute–fibre epoxy composites. *Composite Science and Technology*, *60* , 2857-2863.
- George, M., Mussone, P., & Bressler, D. (2014). Surface and thermal characterization of natural fibres treated with enzymes. *Industrial Crops and Products*, *53* , 365-373.
- Gil, A. (30 de Mayo de 2012). *Ambientum*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de El polietileno totalmente biodegradable para la fabricación de contenedores de residuos: <http://www.ambientum.com/boletino/noticias/El-polietileno-totalmente-biodegradable-fabricacion-contenedores-residuos.asp>
- Goda, K., Sreekala, M., Gomes, A., Kaji, T., & Ohgi, J. (2006). Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites–effect of load application during mercerization of ramie fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *37* , 2213-2220.
- Gomes, A., Matsuo, T., Goda, K., & Ohgi, J. (2007). Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites. *Composites Part A*, *38* (8) , 1811-1820.
- Gracia, C. (s.f.). 4. Bioetanol. *Biocombustibles: ¿Energía o alimento?* , 77-103.
- Gross, R., & Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Green Chemistry* , *297*, 803 - 807.
- Gu, J., & Catchmark, J. (2013). Polylactic acid composites incorporating casein functionalized cellulose nanowhiskers. *Journal of Biological Engineering* .
- Gutiérrez, S. L. (s.f.). *El negocio de las ballenas*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de www.ambiente-ecologico.com/revist52/chivi52.htm
- Harmsen, P. H. (2013). Green Building Blocks for Biobased Plastics. *Wageningen UR Food & Biobased Research* , 11-14.
- Herrera-Franco, P., & Valadez-González. (2004). A Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , *Volumen 35*, Pág 339-345.
- Hexxon. (12 de Marzo de 2015). Recuperado el 22 de Junio de 2016, de Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico): <http://hxx.es/old/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>
- Hidalgo Maestro, L. J. (s.f.). *Universidad de Valladolid*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2015, de www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/nylon/Nylon_file/page0007.htm
- Hu, Y., Wang, Q., & Tang, M. (2013). Preparation and properties of Starch-g-PLA/poly(vinyl alcohol) composite film. *Carbohydrate Polymers*, *96* , 384-388.
- Huda, M., Drzal, L., Mohanty, A., & Misra, M. (2008). Effect of chemical modifications of the pineapple leaf fiber surfaces on the interfacial and mechanical properties of laminated biocomposites. *Composite Interfaces*, *15* , 169-191.

Huihui Zhang, H., Ming, R., Yang, G., Li, Y., Li, Q., & Shao, H. (s.f.).

Jacob John, M., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71 , 343-364.

Jacobsen, S., & Fritz, H. G. (1999). Plasticizing polylactide: The effect of different plasticizers on the mechanical properties. *Polymer Engineering and Science* , 39 (7), 1303-1310.

Jang, Y. J., Jeong, T. K., Oh, H. J., Youn, J. R., & Song, Y. S. (2012). Jang, Y. J.; Jeong, T. K.; Oh, H. Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly(lactic acid) composites. *Composites Part B: Engineering*, 43 , 2434-2438.

John, M., & Anandjiwala, R. (2009). Chemical modification of flax reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40 , 442-448.

Joseph, K., Thomas, S., & Pavithran, C. (1996). Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced polyethylene composites. *Polymer*, 37 , 5139-5149.

Juárez, C., Rodríguez, P., Rivera, R., & de los Ángeles Rechy, M. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierías 7* , 7-19.

Kaewpirom, S., & Worrarat, C. (2014). Preparation and Properties of Pineapple Leaf Fiber Reinforced Poly(lactic acid) Green Composites. *Fibers and Polymers*, 15 (7) , 1469-1477.

Kalia, S., Kaith, B., & Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—a review. *Polymer Engineering and Science*, 49 , 1253-1272.

Karsli, N. G., & Aytac, A. (2014). Properties of alkali treated short flax fiber reinforced poly(lactic acid)/polycarbonate composites. *Fibers and Polymers December*, 15 (12) , 2607-2612.

Khalil, H., Ismail, H., Rozman, H., & Ahmad, M. N. (2001). The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *Eur Polym J*, 37 , 1037-1045.

La Mantia, F., & Monrreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42 , 579-588.

Ladeira de Carvalho, E. G., Silva, D. J., de Almeida, J. M., Ferreira, N. F., Queiroz, J. H., & Vianna, A. (2015). Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fontes renováveis. *O Papel*, 76 (11) , 119-126.

Leu, S., Yang, T., Loc, S., & Yang, T. (2012). *Optimized material composition to improve physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites.*

Li, Y., Jiang, L., Xiong, C., & Peng, W. (2015). Effect of Different Surface Treatment for Bamboo Fiber on the Crystallization Behavior and Mechanical Property of Bamboo Fiber/Nanohydroxyapatite/Poly(lactic-co-glycolic) Composite. *Industrial & Engineering Chemistry*, 54 (48) , 12017-12024.

- Loh, Y. R., Sujan, D., Rahman, M. E., & Das, C. (2013). Sugarcane bagasse—The future composite material: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 73 , 14-22.
- Lopattananon, N., Panawarangkul, K., Sahakaro, K., & Ellis, B. (2006). Performance of pineapple leaf fiber—natural rubber composites: the effect of fiber surface treatments. *Journal of Applied Polymer Science*, 102 , 1974-1984.
- Ma, H., & Whan Joo, C. (2011). Influence of surface treatments on structural and mechanical properties of bamboo fiber-reinforced poly(lactic acid) biocomposites. *Journal of Composite Materials*; 45 (23) , 2455-2463.
- Make it from*. (8 de Mayo de 2016). Recuperado el 23 de Junio de 2016, de [http://www.makeitfrom.com/material-properties/Poly\(lactic-acid\)-PLA-Poly\(lactide\)/](http://www.makeitfrom.com/material-properties/Poly(lactic-acid)-PLA-Poly(lactide)/)
- Marsyahyo, H., Jamasri, Rochardjo, H., & Soekrisno. (2009). Preliminary investigation on bulletproof panels made from ramie fiber reinforced composites for NIJ Level II, IIA, and IV . *Journal of Indian Textile*, 39 , 13-26.
- Masirek, R., Kulinski, Z., Chionna, D., Piorkowska, E., & Pracella, M. (2006). Composites of Poly(L-lactide) with Hemp Fibers: Morphology and Thermal and Mechanical Properties. *Wiley InterScience* .
- Mat Kandar, M. I., & Akil, H. M. (2016). Application of Design of Experiment (DoE) for Parameters Optimization in Compression Moulding for Flax Reinforced Biocomposites. *Procedia Chemistry*, 19. 5th International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals and Environment (RAMM) & 2nd International Postgraduate Conference on Materials, Mineral and Polymer (MAMIP) , 433-440.
- Miravete, A. (2003). *Materiales Compuestos* (Vol. 1).
- Mishra, S., Mishra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., & Mohanty, A. K. (2001). Potentiality of pineapple leaf fibre as reinforcement in PALF—polyester composite: surface modification and mechanical performance. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 20 , 321-334.
- Moscoso, F. J., Martínez, L., Canche, G., Rodigue, D., & González-Núñez, R. (s.f.). *Morphology and properties of polystyrene/agave fiber composites and foams*. Recuperado el 9 de Diciembre de 2015, de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.37843/full>
- Mylsamy, K., & Rajendran, I. (2011). The mechanical properties, deformation and thermomechanical properties of alkali treated and untreated Agave continuous fibre reinforced epoxy composites. *Materials & Design* , Volumen 32, Pág 3076-3084.
- Nascimento, G., Cechinel, D., Piletti, R., Mendes, E., Paula, M., Riella, H., y otros. (2010). Effect of different concentrations and sizes of particles of rice husk ash – RHS in the mechanical properties of polypropylene. *Materials Science Forum*, 660-661, (págs. 23-28).
- New directions for bioplastic packaging. (2011).

Okubo, K., Fujii, T., & Yamamoto, Y. (2004). Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 , 377-383.

Oza, S., Ning, H., Ferguson, I., & Lu, N. (2014). Effect of surface treatment on thermal stability of the hemp-PLA composites: Correlation of activation energy with thermal degradation. *Composites Part B: Engineering*, 67 , 227-232.

Pando-Moreno, M., Pulido, R., Castillo, D., Jurado, E., & Jiménez, J. (2008). Estimating fiber for lechuguilla (Agave lecheguilla Torr., Agavaceae) a traditional non-timber forest product in Mexico. *Forest Ecology and Management* , Volumen 255, Pág. 3686-3690.

Patra, A., Madhu, A., & Chakraborty, J. (2010). Studies on enzymatic pretreatment of linen. . *Indian Journal of Fibre & Textile Research* , 337-341.

Peesan, M., Supaphol, P., & Rujiravanit, R. (2005). Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend film. *Carbohydrate Polymer*, 63 (1) , 1-8.

Pfeiffer, C. (1992). *Aquatic Mammals*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de www.aquaticmammalsjournal.org/share/AquaticMammalsIssueArchives/1992/Aquatic_Mammals_18_3/Pfeiffer.pdf

Pickering, K., Aruan, M., & Le, T. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83 , 98-112.

Pratumshat, S., Soison, P., & Ross, S. (2015). Mechanical and Thermal Properties of Silane Treated Pineapple Leaf Fiber Reinforced Polylactic Acid Composites . *Key Engineering Materials*, 659 , 446-452.

Professional Plastics. (s.f.). Recuperado el 23 de Noviembre de 2015, de <http://www.professionalplastics.com/es/TRADENAMELIST.html>

Rajesh, G., & Ratna Prasad, A. V. (2014). Tensile properties of successive alkali Treated short Jute Fiber reinforced PLA composites. *Procedia Materials Science*, 5 , 2188-2196.

Ramzy, A., Beermann, D., Steuernagel, L., Meiners, D., & Ziegmann, G. (2014). Developing a new generation of sisal composite fibres for use in industrial applications. *Composites Part B: Engineering*, 66 , 287-298.

Ray, D., Sarkar, B., Rana, A., & Bose, N. (2001). The mechanical properties of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32 , 119-127.

Remar. (2011). Bioplásticos. *Guía práctica*, nº 2 , 5-30.

Rubio-López, A., Olmedo, A., Díaz-Álvarez, A., & Santiuste, C. (2015). Manufacture of compression moulded PLA based biocomposites: A parametric study. *Composite Structures*, 131 , 995-1000.

- Samper, M. (2015). *Desarrollo y optimización de 'green composites' basados en matrices derivadas de aceites vegetales modificados y refuerzos de fibras minerales*.
- Santafé Jr., H., Da Costa, L., Rodriguez, R., Lopes, F., & Monteiro, S. (2010). Mechanical behavior of epoxy composites reinforced with acetylation-treated coir fibers. *TMS annual meeting*, (págs. 335-342).
- Sapieha, S., Allard, P., & Zhang, Y. (1990). Dicumyl peroxide-modified cellulose/LLDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 41 , 2039-2048.
- Selectus Limited. (1987). *Patente nº US Serial Number 73556230*.
- Siracusa, V., Blanco, I., Romani, S., Tylewicz, U., Roculli, P., & Dalla Rosa, M. (2012). Poly(lactic acid)-modified films for food packaging application: Physical, mechanical, and barrier behavior. *Journal of Applied Polymer Science* , 125, E390-E401.
- Snodgrass, M. E. (2015). *World clothing and fashion: An encyclopedia of History, Culture and Social influence* (Vol. Volumen I). Routledge.
- Sriburi, P., & Ocawa, T. (2006). Preparation and Characterization of composites from Coconut Fiber and Biodegradable Polymers . *Journal of the adhesion society of Japan*, 42 (2) , 45-55.
- Stagner, J., Dias Alves, V., & Narayan, R. (2012). Application and performance of maleated thermoplastic starch-poly(butylene adipate-co terephthalate) blends for films. *Journal of Applied Polymer Science*, 126 , 135-142.
- Steele, V. *The Corset: A cultural history. Volumen 5*.
- SugarCane*. (s.f.). Recuperado el 2 de Julio de 2016, de <http://sugarcane.org/sugarcane-products/bioplastics>
- Sujaritjun, W., Uawongsuwan, P., Pivsa-Art, W., & Hamada, H. (2013). Mechanical Property of Surface Modified Natural Fiber Reinforced PLA Biocomposites. *10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium. Energy Procedia*, 34, (págs. 664-672).
- Tahir Zafar, M., Nath Maiti, S., & Kumar Ghosh, A. (2016). Effect of surface treatment of jute fibers on the interfacial adhesion in poly(lactic acid)/jute fiber biocomposites. *Fibers and Polymers*, 17 (2) , 266-274.
- Takemura, K., Takada, Y., & Katogi, H. (2012). Effect of treatment using silane coupling agent on creep properties of jute fiber reinforced composites. *High Performance Structure and Materials VI* , 417-424.
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 52, 426- 442.
- Tecnología de los plásticos*. (8 de Agosto de 2011). Recuperado el 22 de Junio de 2016, de Poliacido láctico (PLA): <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/08/poliacido-lactico-pla.html>

Uso de las barbas de ballena. (1838). *Semanario Pintoresco Español*, Tomo III (Núm. 102), Pág. 489.

Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-Uc, J., Olayo, R., & P.J., H.-F. (1999). Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 30, 309-320.

Valencia, A., Arias, M., & Vázquez, R. (2010). Ciudadanía y conciencia medioambiental en España. *Opiniones y Actitudes*, 67, 48.

Vera, F. L., Melo Cortes, H. A., Murcia, C. V., & Galvis, I. C. (2014). *Modificación superficial de micro fibras de celulosa obtenidas a partir de bagazo de caña de azúcar usando silanización*.

Vigneswaran, C., & Jayapriya, J. (2010). Effect on physical characteristics of jute fibres with cellulase and specific mixed enzyme systems. *Journal of the Textile Institute*, 506-513.

Villada, H. S., Acosta, H., & Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, 12:(2), 5-13.

Wang, L., Tong, Z., Ingram, L. O., Cheng, Q., & Matthews, S. (2013). Green Composites of Poly (Lactic Acid) and Sugarcane Bagasse Residues from Bio-refinery Processes. *Journal of Polymers and the Environment*, 21 (3), 780-788.

Weeks Ets. (1939). *Patente nº GB503185 (A)*.

Xu, Y., Kim, K., Hanna, M., & Nag, D. (2005). Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 21 (2), 185-192.

Yu, T., Jiang, N., & Li, Y. (2014). Study on short ramie fiber/poly (lactic acid) composites compatibilized by maleic anhydride. *Composites Part A*, 64, 139-146.

Yussuf, A. A., Massoumi, I., & Hassan, A. (2010). Comparison of Polylactic Acid/Kenaf and Polylactic Acid/Rise Husk Composites: The Influence of the Natural Fibers on the Mechanical, Thermal and Biodegradability. *Properties Journal of Polymers and the Environment*, 18, 422-429.

Zhang, H., Ming, R., Yang, G., Li, Y., Li, Q., & Shao, H. (2015). Influence of alkali treatment on flax fiber for use as reinforcements in polylactide stereocomplex composites. *Polymer Engineering & Science*, 55 (11), 2553-2558.

VI. APÉNDICES

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de las ballenas comercializadas en la actualidad con su presentación, ventajas y desventajas. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Corset Making)	16
Tabla 2. Lista de las biofibras más importantes y su producción mundial anual. Fuentes: (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012) y (Jacob John & Thomas, 2008).....	22
Tabla 3. Composición química de algunas fibras naturales comunes. (Fuente: Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)	22
Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas de las fibras naturales. Fuente:(Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, (2012).....	23
Tabla 5. Propiedades PLA. (Fuente: CES EduPack 2016)	32
Tabla 6. Propiedades PE-HD. (Fuente: CES EduPack 2016).....	34
Tabla 7. Número y composición de las muestras a realizar.	44
Tabla 8. Resultados ensayo tracción y flexión en ballenas de nylon.	44
Tabla 9. Resultados óptimos para termocompresión según estudios.	46
Tabla 10. Factores experimentales y variables respuestas introducidas en el software StatGrapics Centurion para analizar los datos	55
Tabla 11. Análisis del resultado del experimento	55
Tabla 12. Valores respuesta y optimización del experimento.	56
Tabla 13. Análisis de Varianza para Resistencia máx. (Suma de Cuadrados Tipo III).....	57
Tabla 14. Análisis de Varianza para Módulo Young. (Suma de Cuadrados Tipo III).....	57
Tabla 15. Análisis de Varianza para Módulo Específico. (Suma de Cuadrados Tipo III).....	57
Tabla 16. Composición laminado Bambú - Carbono	60
Tabla 17. Composición laminado Bambú - Carbono	60
Tabla 18. Composición laminado Bambú - Basalto	60
Tabla 19. Composición laminado Bambú - Basalto	61
Tabla 20. Composición laminado Bambú - Basalto -Carbono	61
Tabla 21. Composición laminado Bambú - Carbono - Basalto	61
Tabla 22. Lista de fases de confección del corsé.....	68

Índice de gráficos

Gráfico 1. Resultados encuesta del CIS a la pregunta: Grado de interés con el que sigue noticias relacionadas con el medio ambiente. (Fuente: CIS)	21
Gráfico 2. Evolución número de patentes relacionadas con los greencomposites. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Patentscope)	21
Gráfico 3. Evolución publicaciones científicas (Fuente: AIMPLAS)	28
Gráfico 4. Producción anual de bioplásticos (Fuente: ANAIP)	28
Gráfico 5. Porcentajes de utilización de materias primas para la producción de bioplásticos. (Fuente: Ecoembes)	29
Gráfico 6. Comparación resultados de hidrofiliidad de las fibras según el tratamiento.	51
Gráfico 7. Resultado ensayos de tracción de las muestras realizadas y de las ballenas comercializadas.....	52
Gráfico 8. Gráfico de interacciones para Resistencia máxima.....	58
Gráfico 9. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Resistencia máxima.....	58
Gráfico 10. Gráfico de interacciones para Módulo Young.....	58
Gráfico 11. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Módulo Young.....	58
Gráfico 12. Gráfico de interacciones para Módulo específico.....	58
Gráfico 13. Gráfico de medias y 95.0% Fisher LSD para Módulo específico.....	58
Gráfico 14. Resultado ensayos de tracción de la muestra realizada y de las ballenas de poliamida.	64
Gráfico 15. Resultado ensayos de flexión de la muestra realizada y de las ballenas comercializadas junto con los resultados del compuesto de solo bambú con tratamiento alcalino con matriz de bio polietileno.	64

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de los pasos a seguir en los ensayos.....	9
Figura 2. Barba de ballena en su estado natural.....	14
Figura 3. Barba de ballena vista en microscopio.....	14
Figura 4. Anuncio de Warner Bros de corsés de coraline a finales del s.XIX	15
Figura 5. Ballena de Rigilene.	18
Figura 6. Déficit/reserva ecológica mundial.....	20
Figura 7. Huella ecológica y Biocapacidad en España.	20
Figura 8. Esquema de clasificación de los polímeros.	27
Figura 9. Dibujos de las reclamaciones realizadas en la patente EP0516994 (A1) de Warcoal Corp (1992) señalando las zonas de aplicación de la resina de poliuretano.	39
Figura 10. Dibujos de las reclamaciones realizadas en la patente de Stretchline Intellectual Properties LTD (2016) N° de patente CN104582516 (A)	40
Figura 11. Tejidos de yute (a), lino (b) y bambú (c) utilizados en la creación del compuesto.	43
Figura 12. Prensa de platos calientes.....	46
Figura 13. Compuesto resultante de yute (a), lino (b) y bambú (c) con matriz de bio polietileno.	47
Figura 14. Microscopio electrónico de barrido utilizado.	47
Figura 15. Metalizador.	47
Figura 16. Imagen SEM de las fibras de yute sin tratar(a), tratamiento con silanos (b), tratamiento alcalino (c) y tratamiento alcalino y silanos (d) x2000 aumentos.	48
Figura 17. Imagen SEM de las fibras de lino sin tratar(a) x1000 aumentos, tratamiento con silanos (b)x1000 aumentos, tratamiento alcalino (c)x3000 aumentos y tratamiento alcalino y silanos (d) x970 aumentos.	49
Figura 18. Imagen SEM de las fibras de bambú sin tratar(a), tratamiento con silanos (b), tratamiento alcalino (c) y tratamiento alcalino y silanos (d) x2000 aumentos.	50
Figura 19. Medida del ángulo de contacto en tejido de lino con tratamiento alcalino (124,5º) ...	51
Figura 20. Imagen SEM de la fractura del compuesto de bio polietileno y bambú sin tratamiento(a) y con tratamiento alcalino (b) x2000 aumentos.	53
Figura 21. Tejido de fibra de carbono (a) y basalto (b) utilizados en la creación del composite...	59
Figura 22. Constant Engineering para laminado Bambú -Carbono [0 ₂ /0]s	60
Figura 23. Constant Engineering para laminado Bambú - Carbono [0 ₃ /0]s	60
Figura 24. Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto [0 ₂ /0]s	60
Figura 25. Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto [0 ₃ /0]s	61

Figura 26 Constant Engineering para laminado Bambú - Basalto- Carbono [0 ₃ /0]s	61
Figura 27. Constant Engineering para laminado Bambú - Carbono - Basalto [0 ₃ /0]s	61
Figura 28. Proceso de superposición de láminas de tejido y de bio polietileno para crear el composite.....	62
Figura 29. Compuesto creado con interior de fibra de carbono y basalto.	63
Figura 30. Equipo de tracción universal ELIB 50 con el acople de flexión.	63
Figura 31. Equipo de tracción universal ELIB 50 con el acople de tracción.	63
Figura 32. Fotografías de las probetas ensayadas a flexión mostrando los daños producidos durante el ensayo. La imagen (a) muestra las probetas de frente y la imagen (b) el perfil. De izquierda a derecha las probetas corresponden a: Compuesto de bambú con tratamiento alcalino y matriz de bio polietileno, compuesto de bambú con interior de carbono y basalto con matriz de bio polietileno y ballenas de distintas medidas de nylon.	65
Figura 33. Loneta negra utilizada como tejido principal del corsé (A), entretela (B) y bies de batista (C).	67
Figura 34. Corsé cortado antes de coser.....	67
Figura 35. Corsé con sus ballenas cortadas y preparadas para colocar en las fundas de bies.	68
Figura 36. Colocación del compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno en el interior del corsé para evaluar sus propiedades durante el uso. .	69
Figura 37. Detalle del cierre de cremallera en el delantero y de los ojetes y lazada en la espalda.	69
Figura 38. Dibujo plano del delantero del prototipo de corsé underbust.	70
Figura 39. Dibujo plano de la espalda del prototipo de corsé underbust.....	71
Figura 40. Corsé underbust con ballenas experimentales de material compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno. (Delantero).....	72
Figura 41. Corsé underbust con ballenas experimentales de material compuesto de bambú con tratamiento alcalino, carbono y basalto y matriz de bio polietileno.(Espalda)	73