

# El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes

## The coconut, a renewable resource for the design of green materials

A. F. Trujillo, L. S. Arias

Recibido Abril 16 de 2013 – Aceptado Noviembre 15 de 2013

**Resumen**—La urgente necesidad de reducir el deterioro del medio ambiente ha llevado a la búsqueda de materiales menos contaminantes. Colombia cuenta con un amplio territorio apto para el cultivo de diferentes especies vegetales fundamentales en la industria de alimentos. De éstas, se pueden aprovechar diferentes partes en la ingeniería. Es el caso de la palma de coco, que se podría dar apropiadamente en cerca de 70.000 hectáreas del territorio colombiano, de cuyo fruto pueden aprovecharse todas sus partes. El coco posee una capa dura o endocarpio, que por su dureza es apta para ser usada como refuerzo en materiales compuestos. Los eco-compuestos ofrecen buenas propiedades y un menor impacto ambiental, por ser degradables y renovables.

Este artículo<sup>1</sup> hace parte de un estudio hecho en la Universidad Tecnológica de Pereira, donde se obtuvieron las propiedades de dos clases de matrices de origen polimérico reforzadas con endocarpio de coco y cuyos resultados serán publicados en otro artículo. Aquí se muestra una revisión de fuentes especializadas en aspectos técnicos y científicos sobre el coco como material de refuerzo en matrices sintéticas. Además, se dan algunos aspectos generales de los eco-compuestos o compuestos verdes.

**Palabras Clave**—eco-compuestos, endocarpio de coco, interfase, materiales compuestos, matriz, refuerzo.

**Abstract**— The need to reduce environmental degradation has led, nowadays, to the search for less polluting materials. Colombia has a large area suitable for cultivation of different plant species, which belong essentially to the food industry. Some parts of these plants may be used in engineering. This is the case of the coconut palm, which could be properly grown in about 70,000 hectares of Colombia, and its fruit can be entirely used. The coconut fruit has a hard shell or endocarp, which, due to its hardness, is suitable for being used as reinforcement in composite materials. Eco-composites offer good properties and a lower environmental impact, because they are biodegradable and renewable.

This article is part of the result of a study carried out at Universidad Tecnológica de Pereira, in which the properties of two different kind of polymeric matrices reinforced with coconut endocarp, which will be published in further articles. A review that provides an overview of different aspects of technical and scientific documentation about coconut shell and its applicability as a reinforcing material in a synthetic matrix is presented here. It also offers some general aspects of the eco-composites or green composites.

**Key Words**— coconut shell, composites, eco-composites, interface, matrix, reinforcement.

### I. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos (MCs) están formados básicamente por una matriz y un refuerzo. Tanto la matriz como el refuerzo cumplen una función y tienen unas propiedades individuales, que se complementan en el material que conforman.

<sup>1</sup> Producto derivado del proyecto de investigación “estudio de la factibilidad de emplear endocarpio de coco como refuerzo para materiales compuestos en Colombia, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas”, apoyado por la universidad tecnológica de Pereira a través del semillero de investigación diseño de materiales compuestos (dimaco).

La explotación, obtención y disposición final de los materiales sintéticos que son usados como constituyentes en materiales compuestos, generalmente causan un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que se busca sustituirlos por materiales naturales. Estos últimos son biodegradables, fáciles de manipular y menos tóxicos. Así se hace uso de una fuente renovable como el fruto de la palma de coco que puede favorecer el entorno social y ambiental.

El fruto de la palma de coco consta de tres partes principales: endocarpio, mesocarpio y endospermo. De las tres, el endocarpio es la parte más dura, similar a una madera y aprovechado principalmente en la elaboración de artesanías y como combustible, pero generalmente desechado.

La obtención de nuevos materiales compuestos degradables o biodegradables en aplicaciones de ingeniería, representa retos tecnológicos. Aunque el desarrollo del tema en el país es nuevo, los avances con fibras naturales y biopolímeros han mostrado resultados satisfactorios; sin embargo, el endocarpio del coco no ha sido tema de estudio. En este artículo se presenta una descripción, en términos generales, de algunos materiales compuestos elaborados con fibras naturales y con material particulado, haciendo énfasis en el endocarpio de coco. De igual manera, se describen aspectos generales del sector que involucra la producción de este fruto. Sin embargo, este artículo de revisión propone principalmente la fabricación de dos tipos de materiales compuestos y además, expone el contexto general del impacto que estos pudieran tener. Este análisis de factibilidad hace parte complementaria del desarrollo experimental, que se ejecuta de manera paralela.

## 1. La palma de coco

La palma de coco es una planta que pertenece a la familia Palmae y a la clase de las monocotiledóneas. Su nombre científico es *coco nucifera* L. y su nombre vulgar es cocotero. Las variedades más destacadas, son los cocoteros altos y los enanos, pero han sido reconocidas sesenta variedades [1].

Esta palma es de gran importancia por tener un fruto que puede ser aprovechado en múltiples aplicaciones. Presenta un buen desarrollo en regiones cuya altitud está por debajo de los 250 msnm, en un rango de temperatura promedio entre 28 y 35 °C. El suelo apropiado debe ser arenoso o fango-arenoso, que permita un buen drenaje del agua [1, 2]. Por lo cual, se cultiva sobre todo en costas.

El cocotero es originario de la zona insular asiático-pacífico y se distribuyó por el Caribe, el noroeste de América del Sur y Brasil, durante el descubrimiento del nuevo mundo en el siglo XVI [3, 4]. Colombia cuenta con zonas costeras en el océano Pacífico y Atlántico, entre las que se observa una variada vegetación. De sus 32 departamentos, 11 tienen costa (es decir, el 34,4 %), sin contar el territorio insular. Éstos cumplen con las condiciones óptimas para el buen crecimiento de la palma de coco.

## 2. El endocarpio de coco

El fruto de la palma de coco es una drupa monosperma. Se compone de un exocarpio, mesocarpio, endosperma, agua de coco y endocarpio (Figura 1). El fruto completo puede llegar a pesar de 1 a 1,5 kg en su etapa madura y las proporciones aproximadas de sus partes son las siguientes: Mesocarpio 35 %, Endocarpio 12 %, Endosperma 28 % y Agua de coco 25 % [5].

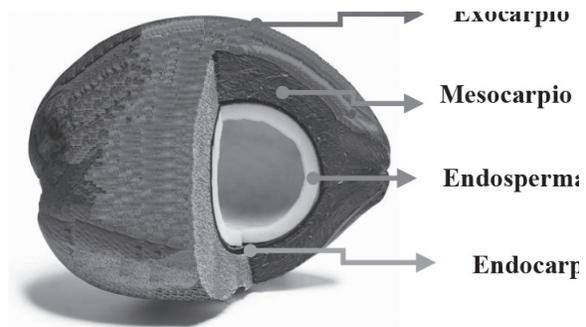


Figura 1. Partes del coco nucifera L. Foto modificada de imagen tomada de la revista National Geographic.

El endocarpio es la capa dura color marrón, que en algunos casos sirve como combustible, por su alto contenido de lignina. Este material seco está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, en proporciones tales que se asemeja a una madera dura [2].

La celulosa es un homopolisacárido y la materia orgánica más abundante en el mundo. Desde 1889 ha sido una opción en la fabricación de fibras destinadas a sustituir la seda natural. Esta aplicación tuvo acogida un tiempo, hasta que fueron sintetizados polímeros como el poliéster y diferentes tipos de poliamidas, que reemplazaron las fibras naturales [6, 7].

La lignina es la segunda materia biológica más abundante en el mundo. Es un polímero conformado por unidades de fenilpropano. Esta sustancia evita el ingreso de enzimas destructivas por la pared celular [8, 9, 10]. La lignina es considerada como una de las moléculas responsables de otorgar mayor dureza a las maderas.

La composición química del endocarpio de coco, como en cualquier otra fibra o corteza, depende de diferentes factores como la edad de la planta, las condiciones climáticas específicas de la zona donde se cultivó la planta y el proceso de degradación que se haya presentado hasta su recolección o análisis [9].

En la tabla 1 se presentan algunos datos comparativos de la principal composición química del endocarpio de coco, la cáscara de cebada y una madera blanda, determinada por Bledzki et al. [11]. Asumiendo que el endocarpio es el más duro, seguido de la cáscara de la cebada y, por último, la madera blanda, se puede inferir que al disminuir el contenido de celulosa, aumenta la dureza, pero no hay un marcado

efecto de la concentración de lignina, en dicha propiedad, como se observa en la tabla.

TABLA I. COMPOSICIÓN QUÍMICA (% M/M) DEL ENDOCARPIO DE COCO, CÁSCARA DE CEBADA Y UNA MADERA BLANDA [11].

Compuestos identificados	Endocarpio de coco (%)	Cáscara de cebada (%)	Madera blanda (%)
Celulosa	34	39	42
Hemicelulosa	21	12	22
Lignina	27	22	31
Proteína	2	4	0,45
Grasa	5	4	0,45

Por otra parte, en la tabla 2 se registran algunos resultados publicados por Faruk et al. [9], donde se puede observar que en algunas fibras vegetales, el mayor contenido de celulosa parece estar asociado con una mayor resistencia a la tracción.

Tabla II. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ALGUNAS FIBRAS VEGETALES [9].

B	agazo de caña de azúcar	Kenaf	Fibra de coco
Celulosa (%)	55,2	72	32-43
Hemicelulosa (%)	16,8	20,3	0,15-0,25
Lignina (%)	25,3	9	40-45
Resistencia a la tracción (MPa)	290	930	175

El endocarpio, es la parte del coco que se analiza en el presente trabajo, ofrece buenas características como materia prima para obtener carbón activado [12], y puede servir, además, de componente en tableros aglomerados o para elaborar implementos caseros, como tazas o platos [2]. El endocarpio en polvo, ha sido usado como un abrasivo suave para la limpieza de pistones y como carga de resinas, por dar mejores acabados superficiales [5], sin embargo, estas dos últimas aplicaciones se han hecho de manera empírica.

No se encuentra documentación oficial en Colombia que muestre el uso del endocarpio de coco en un material de ingeniería. En contraste, se registra que una pequeña fracción de este material es utilizado en aplicaciones artesanales y para la agricultura, pero la mayor parte es desechada. El Estudio del que hace parte este artículo, y cuyos resultados completos serán complementados en otras publicaciones, presenta propiedades mecánicas y físicas que validan el uso de este residuo orgánico en otras aplicaciones diferentes a las acabadas de mencionar.

### 3. Cultivos representativos del cocotero en Colombia

Colombia ocupa la vigésimo cuarta posición en producción de coco a nivel mundial, por aportar, tan sólo 0,23 % de la producción total del coco. La eficiencia de la producción en Colombia es de 8,62 t de coco por hectárea, encontrándose por encima del promedio mundial (5 t de coco por hectárea), lo cual se atribuye al clima y a la fertilidad de los suelos que son aptos para tal fin, por recibir nutrientes de ríos y mares [13, 14].

Se estima que cerca de 70.000 hectáreas de tierras colombianas son aptas para el cultivo del coco, destacándose en el Litoral Atlántico las regiones de Santa Marta, Dibulla, Urabá e Islas de San Andrés y Providencia, y en el Litoral Pacífico, los departamentos de Nariño y Cauca [5]. En la tabla 3 se encuentra un registro de 2008 [14].

Se considera que por cada cuatro hectáreas de cocotero sembrado en Colombia, se generan utilidades promedio de dos salarios mínimos. Este se acepta como un ingreso para las comunidades de la Costa Pacífica colombiana, pero en realidad no es suficiente para suplir sus necesidades básicas, como lo reporta Pérez [15]. Sin embargo, “la economía del coco en la zona del pacífico colombiano ha ganado importancia en los últimos años, como alternativa para reducir el impacto que los cultivos ilícitos, generan en la zona” [16]. Lo anterior ha facilitado la aceptación del cultivo por algunos grupos de la comunidad y las autoridades. Al problema de la pobreza, se suma el de la contaminación, pues se reporta que las regiones más afectadas por los desechos sólidos son Chocó, La Guajira y Cauca [17].

Por otra parte, un trabajo desarrollado en el municipio de Guapi, Cauca, indica que en los últimos 10 años el cultivo de la palma de coco ha disminuido porque no ha tenido la atención técnica adecuada, ni ha habido suficiente interés en los cultivos por parte de las autoridades competentes, ni de los agricultores. Esto, unido a la falta de infraestructura, que restringe el comercio por lo aislado de la zona, ha hecho que sea más económico y sencillo importar de países vecinos [5].

Las dificultades relacionadas con el mantenimiento de los cultivos y transporte de la cosecha han hecho que los productores nacionales de coco, cada día sean menos, al encontrar mejores alternativas económicas en otros cultivos. Sin embargo sigue existiendo la posibilidad de aprovechar el endocarpio de coco.

La tabla 3 representa el estado de producción de coco en a diferentes regiones de Colombia.

TABLA III. PARTICIPACIÓN DEPARTAMENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE COCO EN COLOMBIA EN 2008 [14].

Departamento	Producción (t)	% de producción
Antioquia	1.815	1,6
Bolívar	2.782	2,5
Cauca	24.690	22
Chocó	6.010	5,4
Córdoba	6.581	5,9
La Guajira	2.152	1,9
Magdalena	4.444	4
Nariño	56.208	50,1
Sucre	3.767	3,4
Valle del Cauca	3.840	3,4
<b>TOTAL</b>	<b>112.289</b>	<b>100</b>

#### 4. Materiales compuestos (MCs)

Un material compuesto (MC) se genera de la combinación de dos o más constituyentes, sin que se presente una reacción química entre ellos. Este material debe tener mejores propiedades que sus constituyentes aislados. Los constituyentes pueden identificarse como matriz y refuerzo, cada uno de los cuales cumple una función importante dentro del material. Así, la matriz se caracteriza por ser una fase continua que actúa como ligante y el refuerzo es la fase discontinua que generalmente aporta la resistencia a la tracción. La interfase es la zona de contacto de los dos anteriores, que tiene gran importancia debido a que allí se pueden alterar las propiedades mecánicas del material [18-21].

Existen varias clasificaciones de los MCs. Entre ellas se diferencian los compuestos naturales, tradicionales y sintéticos. Un ejemplo claro de los naturales es la madera. Los tradicionales son aquellos que se han producido desde hace muchos años, como la paja en el barro o el hormigón. Por otra parte, los sintéticos son aquellos elaborados por el hombre.

Según el tipo de refuerzo, un MC puede clasificarse como estructural, reforzado con fibras o con partículas.

Adicionalmente, los MCs se clasifican de acuerdo a la naturaleza del material de la matriz, la cual puede ser polimérica, cerámica o metálica [19, 22, 23].

Diferentes necesidades que pueden ser suplidas con el diseño y fabricación de MCs, van desde reducción de costos hasta el mejoramiento de las propiedades. Es el caso, entre otros, de Rocha y colaboradores [24], que al realizar un material compuesto de PVC con partículas de madera, muestran que el material obtenido permite reducir la cantidad de polímero y en consecuencia, disminuye el costo. En muchos casos se busca mejorar la tenacidad, como ocurre con el concreto, generado de la mezcla de gravilla, arena, cemento y agua para aplicaciones estructurales [23].

La tendencia actual es diseñar y elaborar materiales que no generen impactos nocivos sobre el medio ambiente, o al menos lo reduzcan, buscando aumentar la degradabilidad del material creado, aprovechando la descomposición temprana de los componentes naturales. Esto ha llevado a mezclar materiales naturales con sintéticos, sin alterar significativamente las propiedades mecánicas [25].

La importancia de descubrir o elaborar materiales compuestos con mayor resistencia mecánica, mayor vida útil y menor peso se ha estudiado desde los años 60's, y desde los 80's se empezaron a desarrollar investigaciones encaminadas al óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles, y desde ese momento, aparecen los biocompuestos y los eco-compuestos o compuestos verdes, tratando de proporcionar alternativas responsables con el medio ambiente [26, 27, 28].

Algunos de los principales desafíos que se presentan con los MCs son determinar la cantidad óptima de refuerzo, evitar la incompatibilidad entre los componentes del MC y tener las técnicas y procesos adecuados para su fabricación.

Los compuestos verdes se han desarrollado rápidamente, debido a que, en general, no son tóxicos, se han implementado mejoras tecnológicas en su proceso de fabricación, se disminuyen los costos de materia prima, son fáciles de mecanizar, no causan gran desgaste en las herramientas y tienen buenas propiedades de resistencia específica [5, 29]. Algunas de sus aplicaciones se presentan en materiales de construcción, partes de automóviles y empaques de algunos productos [30].

Un eco-compuesto es un compuesto con al menos uno de sus constituyentes biodegradable. Se puede confundir con los biocompuestos, porque ambos buscan bajar el impacto ambiental, sin embargo, en los eco-compuestos cualquiera de sus constituyentes es biodegradable.

De esta manera, se puede tener un eco-compuesto constituido por una resina de origen fósil con un refuerzo natural o un biopolímero reforzado con fibras no naturales, como la fibra de vidrio.

Por otra parte, los biocompuestos se caracterizan por tener como matriz un biopolímero, que se sintetiza a partir de un recurso renovable (resinas animales o vegetales) y su refuerzo debe ser natural [31].

Es de resaltar que tanto los eco-compuestos como los biocompuestos, presentan una degradabilidad mayor, comparada con compuestos totalmente sintéticos.

Pickering [27] realizó un estudio donde expone técnicas útiles para reciclar polímeros termoestables. En su trabajo, manifiesta que el empleo de materiales reciclables es la clave para el desarrollo de nuevos compuestos [25, 32].

#### 5. Materiales compuestos reforzados con endocarpio de coco

Estudios realizados en Malasia, Inglaterra y Nigeria, sobre el comportamiento de diferentes compuestos, fabricados con polímeros reforzados de partículas de endocarpio de coco, muestran de manera general que las propiedades mecánicas: resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y la dureza, mejoran al comparar los resultados con las muestras de polímeros puros [11, 33, 34].

Bledzki et al. [11] llevaron a cabo una investigación para evaluar las propiedades en algunos compuestos con una matriz de polipropileno reforzados en un 40% con cáscara de cebada, endocarpio de coco y una madera blanda. Con su trabajo buscaban encontrar el mejor sustituto, entre la cáscara de cebada y el endocarpio de coco, para la madera blanda. En la tabla 4 se resumen los resultados obtenidos de

las tres muestras que fueron evaluadas antes y después de un tratamiento químico para mejorar la interfase.

Los resultados muestran que el compuesto con endocarpio de coco es térmicamente estable hasta 195 °C, presenta una mayor elongación y mejor resistencia al impacto que el compuesto con harina de madera. Sin embargo, la resistencia a la tracción resultó ser superior en la cáscara de cebada y menor en el endocarpio de coco. Se observó también, un aumento de la resistencia a la tracción para todas las muestras con el tratamiento químico.

Lo anterior se puede observar en la tabla número 4.

TABLA IV. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO REFORZADO CON MADERA BLANDA, CÁSCARA DE CEBADA Y ENDOCARPIO DE COCO, CON TRATAMIENTO Y SIN TRATAMIENTO PREVIO [11].ç

	R. tracción (MPa)	Elong. (%)	R. impacto (mJ/mm <sup>2</sup> )
Madera blanda sin tratar	28	1,9	3,9
Cáscara de cebada sin tratar	29,5	2,7	5,2
Endocarpio de coco sin tratar	23	3,3	4,8
Madera blanda tratada	33	1,8	3,8
Cáscara de cebada tratada	37	2,6	5,1
Endocarpio de coco tratado	29,5	3,25	4,8

Sapuan y Harimi [33] realizaron un estudio donde mostraron, mediante pruebas mecánicas, la viabilidad de emplear el endocarpio de coco pulverizado como refuerzo de una matriz epóxica. Las pruebas se hicieron usando 5, 10 y 15% (m/m) de partículas. Los resultados de la tabla 5 indican un aumento de la resistencia a la tracción y a la flexión, proporcional al aumento de la concentración de refuerzo en la matriz.

Sarki et al. [34] también utilizaron una matriz epóxica para reforzar con endocarpio de coco y los resultados más relevantes se tabulan en la tabla 6, donde se observa el aumento del módulo de elasticidad (*E*), la resistencia a la tracción y la dureza, con el incremento de endocarpio en la matriz.

TABLA V. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y A LA FLEXIÓN DE UNA MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON ENDOCARPIO DE COCO PULVERIZADO A 5, 10 Y 15% (M/M) [33].

Endocarpio de coco en el MC (%)	R. tracción (MPa)	R. flexión (MPa)
5	27,17	55,76
10	30,72	67,09
15	35,48	80,68

TABLA VI. PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON ENDOCARPIO DE COCO PULVERIZADO [34].

% de partículas	<i>E</i> (MPa)	Máx. resistencia a tracción (MPa)	Dureza (HB)
0	320,84	18,43	4,1
10	683,56	31,82	7,8
20	688,14	37,31	9,5

Por su parte, Husseinsyah y Mostapha [35] emplearon un poliéster para ser reforzado con endocarpio de coco pulverizado. Los resultados sintetizados en la tabla 7 indican un cambio poco significativo en la resistencia a tracción, una disminución del porcentaje de elongación, aumento en el módulo de elasticidad y un aumento de la absorción del agua, al adicionar el refuerzo.

TABLA VII. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIÉSTER REFORZADO CON ENDOCARPIO DE COCO PULVERIZADO A DIFERENTES PROPORCIONES [35].

% (mm) de partículas	R. tracción (MPa)	Elong. (%)	<i>E</i> (MPa)	Equilibrio de absorción de agua (%)
0	28	4,3	1000	0,9
15	23	3,3	1200	1,2
30	25	2,6	1400	1,65
45	28	2,2	1500	1,9
60	29	2,1	1650	2,25

La composición química del endocarpio de coco puede diferir de una región a otra, como se evidencia al comparar los resultados obtenidos por Bledzki y colaboradores en Malasia, con los de Abdul y su grupo de investigación en Inglaterra [11, 36]. Esto puede ser un factor que influya en las propiedades mecánicas de los MCs obtenidos [37]. Por lo tanto, se considera importante realizar una caracterización similar del endocarpio producido en Colombia, para determinar la factibilidad de emplearlo como fase de refuerzo en diferentes matrices.

La investigación en el área de MCs verdes, ya se ha iniciado en Colombia en varias ciudades, por lo que se tiene disponibilidad de equipos y personal experimentado para explorar con una nueva fase de refuerzo. Del coco sólo se ha empleado el mesocarpio para reforzar cemento, encontrándose un incremento en la resistencia a la compresión y a la flexión. [38].

## 6. Poliuretano

El poliuretano (PU) es un polímero formado por los monómeros di o poli-isocianato y un di o poli-ol. El grupo carbamato ( $R-NH-C(=O)-O-R'$ ) o uretano [39] en el poliuretano, acentúa la presencia de "polos", favoreciendo la interfase o interacción con material de origen vegetal.

El poliuretano (PU) fue descubierto en Alemania en 1937 por Otto Bayer y compañeros de trabajo en el I.G. Farbenindustrie [40]. La forma más conocida del PU en el mercado, es como espuma, pero existen otras, como microespumas, elastómeros y poliuretanos termoplásticos [41].

El PU elastomérico es un material característico por soportar alta presión, cargas, impactos y desgaste. Es resistente a la corrosión, tiene alta elasticidad y amortiguamiento, sin embargo, no soporta grandes temperaturas y es costoso [42]. El PU se caracteriza también, por tener buena adherencia a otros materiales [43]; es un material biocompatible, cuya

principal aplicación es en la biomedicina, para la elaboración por ejemplo de catéteres cardiovasculares [39, 44].

El estudio realizado por Silva et al. [45] indica que el PU es un material que presenta una mejor interacción con fibras naturales que otras resinas, debido a la interacción del grupo isocianato (presente en el PU) con el grupo hidroxilo (presente en fibras naturales).

Además, el PU es altamente resistente a la descomposición y se considera una carga ambiental, como lo menciona El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), donde se ha desarrollado una tecnología para obtener poliuretanos biodegradables [39].

La posibilidad de adicionar partículas naturales como el endocarpio de coco pulverizado al PU, contribuiría a disminuir los volúmenes de este polímero arrojados al medio ambiente, a la hora de ser desechado.

### 7. Almidón de yuca

El almidón es un polisacárido constituido básicamente por la mezcla de amilosa y amilopectina dos polisacáridos conformados por unidades de glucosa [46], de la misma naturaleza del endocarpio; con la ventaja que se degrada por la acción enzimática de microorganismos. La amilosa es un polímero lineal, mientras que la amilopectina es ramificado. Por lo anterior, la primera es más biodegradable, que la segunda [47].

Uno de los atractivos de los almidones es su gelatinización, porque de esta transformación se obtienen lo que hoy se conoce como biopolímeros, polímeros degradables por ser elaborados con materias primas animales o vegetales. La gelatinización es la transición más aprovechada industrialmente de los almidones [48, 49].

El almidón se encuentra en varios alimentos. Entre ellos el obtenido de almidón de yuca ha presentado mejores propiedades de flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua [50].

### 8. Matrices seleccionadas

En este trabajo, para seleccionar una matriz apropiada que pudiera ser reforzada con endocarpio de coco pulverizado, se tuvo en cuenta la naturaleza química de cada constituyente, para garantizar una buena interfase [20].

Como ya se mencionó, el endocarpio está constituido mayormente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Todos estos polímeros se caracterizan por tener anillos aromáticos y presencia del grupo hidroxilo (-OH). La celulosa es un polisacárido formado por unidades de glucosa. La hemicelulosa está formada por diferentes monómeros, entre los cuales se caracterizan la glucosa, galactosa, manosa, arabinosa y xilosa [8]. La lignina se destaca por la presencia de unidades de vainillina y siringilaldehído [37].

Las anteriores lignocelulosas tienen anillos relativamente neutros y estables. Sin embargo, la presencia de los grupos aldehído (-CHO), hidroxilo (-OH) y éter (-O-) dentro del anillo, les otorga un carácter "polar".

Por lo tanto, el endocarpio puede formar una buena interfase con un polímero que posea una estructura química semejante, de modo que los "polos" positivos del refuerzo interactúen con los "polos" negativos de la matriz y viceversa. Por esta razón se seleccionaron el poliuretano y el almidón para ser reforzados con endocarpio de coco pulverizado.

## II. CONCLUSIONES

Colombia cuenta con las condiciones geográficas apropiadas para el cultivo de la palma de coco, y contribuye con un 0,23 % a la producción mundial de su fruto. Sin embargo la situación de los productores nacionales de coco es desfavorable puesto que el costo del producto no es competitivo frente al de países vecinos.

Algunas de las causas incluyen las dificultades en el transporte y la falta de la tecnificación adecuada para el mantenimiento del cultivo. Como consecuencia ha resultado más económico importar el fruto

El endocarpio de coco sigue considerándose un desecho que podría aprovecharse a mayor escala para obtener un beneficio ambiental y económico. Esta parte del fruto de la palma de coco ha sido empleada como refuerzo en materiales compuestos con resultados satisfactorios en otros países. Sin embargo en Colombia no se han desarrollado eco-compuestos o biocompuestos reforzados con endocarpio de coco, por lo tanto, se desconocen sus propiedades.

Paralelo al desarrollo de este artículo, se está llevando a cabo, un eco-compuesto formado con poliuretano reforzado con endocarpio de coco, y otro a partir de almidón de yuca con el mismo refuerzo. Se obtendrán las propiedades mecánicas y otras características importantes de los compuestos obtenidos para evaluar su aplicabilidad en la ingeniería y diseño, en general.

## RECOMENDACIONES Y AGRADECIMIENTOS

Se recomienda continuar con la investigación para comprobar el efecto que la composición química del endocarpio recolectado en Colombia y su concentración en el compuesto (masa de endocarpio / masa total), tienen sobre las propiedades mecánicas finales.

Integrar otras áreas del conocimiento para comprobar el aporte que la adición del endocarpio de coco, tiene sobre la degradabilidad de los materiales obtenidos.

Se agradece al semillero de investigación Diseño de Materiales Compuestos (DIMACO) de donde surge esta idea en el año 2009. En especial a los docentes que lo lideran, la ingeniera Luz Stella Arias Maya y el ingeniero Libardo Vanegas Useche, quienes con su orientación, permitieron el desarrollo de este trabajo.

También agradecemos a la Universidad Tecnológica de Pereira, por financiar la continuación de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1]. Ángel, José y Ramírez, Teofilo (Septiembre, 2008). “Manual técnico del cultivo del cocotero (*Cocos nucifera L.*) en México”. En: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), p: 1-39.
- [2]. Granados Sánchez, D. y López Ríos, G. F. (Enero-Junio, 2002). “Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera L.*) en México”. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente. 8 (001), p: 39-48.
- [3]. Parrotta, John A (1993). “*Cocos nucifera L.*”. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, p: 152-158.
- [4]. Cueto, Jorge R.; Maruchi, Alonso; Raixa, Llauger; González, V.; Romero, W. (1986). “*Historia del cocotero (Cocos nucifera L.) en Cuba: su origen en la región de Baracoa*”. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Empresa de Coco Baracoa, p: 1-6.
- [5]. FOMIPYME (2003). “Informe investigación preliminar y parcela demostrativa conducentes al repoblamiento de la palma de coco utilizada en la elaboración de artesanías”. Informe del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Artesanías de Colombia S.A., p: 1-30.
- [6]. Tatsuya H., Glyn O. P. (1997) *New Fibers (Chapter 8: Cellulosic Fibers)*. (2da Edición). Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p: 181-208.
- [7]. Cuervo, Laura; Folch, Jorge Luis; Quiroz, Rosa Estela (2009). “Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol”. *Revista: BioTecnología*. 13 (3), p: 11-25.
- [8]. Sarkanen, K.V. y Ludwig, C.H. (1972). “Lignin: Occurrence, Formation, Structure and Reactions”. *Journal of Polymer Science*. 10 (3), p: 228-230.
- [9]. Faruk, Omar; Bledzki, Andrzej K.; Fink, Hans-Peter; Sain, Mohini (2012). “Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010”. *Progress in Polymer Science*, p: 1-45. (disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>)
- [10]. López, Marga; Huerta Pujol, Oscar; Martínez Farre, F. Xavier; Soliva, Montserrat (2012). “Approaching compost stability from Klason lignin modified method: Chemical stability degree for OM and N quality assessment”. *Resources, Conservation and Recycling*. (55), p: 171-181.
- [11]. Bledzki, Andrzej K.; Mamun, Abdullah A. y Volk, Jürgen (Enero, 2010). “Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties”. *Composites Science and Technology*, (70), p: 840-846.
- [12]. Luna, Donaciano; González, Armando; Gordon, Manuel; Martín, Nancy (2007). “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco”. *ContactoS 64*, p: 39-48.
- [13]. USAID lidera recuperación de la producción cocotera del pacífico colombiano (Septiembre 15, 2010). En: *Radio Santa fe 1070 a.m.* Bogotá. Disponible en: <http://www.radiosantafe.com/2010/09/15/usa-id-lidera-recuperacion-de-la-produccion-cocotera-del-pacifico-colombiano/>.
- [14]. ACUERDO de competitividad (2008). “*Cadena nacional del coco en Colombia*”, p: 1-36.
- [15]. Pérez V., Gerson Javier (Enero, 2005). “*Dimensión espacial de la pobreza en Colombia*”. En: Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la república, Cartagena de Indias, (54), p: 1-46.
- [16]. “Rehabilitan producción de coco en el Pacífico mediante un proyecto del programa Midas de la Usaid” (Noviembre 17, 2008). En: *Portafolio*. Disponible en: <http://www.portafolio.co/archivo/documento/CMS-4670386>
- [17]. Disponible en internet: <http://oscarvillani.blogspot.com/2009/10/rellenos-sanitarios-en-colombia.html>.
- [18]. Franco, Stupenengo. “*Materiales y materias primas. Capítulo 10: Materiales compuestos*” (2011). Guía didáctica. República Argentina, 27 pp.
- [19]. Cruz Riaño, Luis Javier; Gañan Rojo, Piedad; Martínez Tejada, Háder Vladimir (2004). “*Los materiales compuestos, el nuevo sueño del alquimista*”. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. 4, p: 56-59.
- [20]. Zhao, F.M. y Takeda, N. (2000). “*Effect of interfacial adhesion and statistical fiber strength on tensile strength of unidirectional glass fiber/epoxy composites*”. Part I: experiment results”. En: *Composites. Part A: applied science and manufacturing*. 31, p: 1203-1214.
- [21]. Steen, M. y Vallés, J. L. (1998). “*Interfacial bond conditions and stress distribution in a two-dimensionally reinforced brittle-matrix composite*”. En: *Composites science and technology*. 58, p: 313-330.
- [22]. Besednjak, Alejandro (2009). “*Los materiales compuestos*”. Disponible en: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22636-3142.pdf>.
- [23]. Flores Barrara, Grober (2009). “*Guía de tecnología del concreto*”. Universidad Nacional de Huancavelica, 55 pp.
- [24]. Rocha, N.; Kazlauciuonas, A.; Gil, M.H.; Gonçalves, P.M. y Guthrie, J.T. (2009). “Poly(vinyl chloride)-wood flour press mould composites: The influence of raw materials on performance properties”. En: *Composites: Part A*. 40, p: 653-661.
- [25]. D.F. Parra, C.C. Tadini, P. Ponce, A.B. Lugao (2004). “*Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films*”. *Revista: Carbohydrate polymers*. 58, p: 475-481.
- [26]. Van Den Oevert, M. y Peijs, T (1998). “*Continuous-glass-fibre-reinforced polypropylene composites II. Influence of maleic-anhydride modified polypropylene on fatigue behavior*”. En: *Composites Part A*. 29, p: 227-239.
- [27]. Pickering, S.J. (2006). “*Recycling technologies for thermoset composite materials-current status*”. En: *Composites: Part A*. 37, p: 1206-1215.
- [28]. Mouritz, A. P., Bannister, M.K., Falzon, P.J., Leong, K.H. (1999) “*Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites*”. *Composites Part A: applied science and manufacturing*. 30, p: 1445-1461.
- [29]. Kestur G. Satyanarayana, Gregorio G.C. Arizaga, Fernando Wypych (2009). “*Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview*”. *Revista: Progress in polymer science*. 34, p: 982-1021.
- [30]. Zhiyuan, Lin y Scott, Rennecker (2011). “*Nanocomposite-based lignocellulosic fibers 2: Layer-by-layer modification of wood fibers for reinforcement in thermoplastic composites*”. En: *Composites: Part A*. 42, p: 84-91.
- [31]. Ariza H., Jairo; Gañan R., Piedad (2004). “*Materiales compuestos a partir de biopolímeros y fibras vegetales: Una alternativa natural*”. *Editorial Universidad Pontificia Bolivariana*. 4, p: 47-55.
- [32]. M. P. Westman; L. S. Fifield; K. L. Simmons; S. G. Laddha; T. A. Kafentzis (2010). “*Natural fiber composites: A Review*”. Pacific northwest, National laboratory, 10 pp.
- [33]. Sapuan, S.M. y Harimi, M. (Octubre, 2003). “*Mechanical properties of epoxy/coconut shell filler particle composites*”. En: *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 28 (2B), p: 171-181.
- [34]. Sarki, J.; Hassan, S.B.; V.S. Aigbodion y Oghenevweta, J.E. (Noviembre, 2011). “*Potential of using coconut shell particle fillers in eco-composite materials*”. En: *Journal of Alloys and Compounds*, (509), p: 2381-2385.
- [35]. S. Husseinsyah y M. Mostapha (2011). “*The Effect of Filler Content on Properties of Coconut Shell Filled Polyester Composites*”. *Primalaysian, Polymer journal*. 6 (1), p: 87-97. Disponible en: [www.fkkksa.utm.my/mpj](http://www.fkkksa.utm.my/mpj).
- [36]. Abdul Khalil, H.P.S.; Firoozian, P.; Bakare, I.O.; Akil, Hazizan Md. y Noor, Ahmad Md. (Enero, 2010). “*Exploring biomass based carbon black as filler in epoxy composites: Flexural and thermal properties*”. En: *Materials and Design*, (31), p. 3419-3425.
- [37]. Daiky Valenciaga, R.S. Herrera, Eloisa de Oliveira Simoes, Bertha Chongo y Verena Torres (2009). “*Composición monomérica de la lignina de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115 y su variación con la edad de rebrote*”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 43 (3), p: 315-319.
- [38]. Quintero García, Sandra Liliana y González Salcedo, Luis Octavio (Julio-Diciembre, 2006). “*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*”. En: *Ingeniería & Desarrollo*, Universidad del Norte, (20), p: 134-150.
- [39]. Chattopadhyay, D.K.; Raju, K.V.S.N. (2007). “*Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications*”. *Progress in Polymer Science*, p: 352-418.
- [40]. Jiménez, Isabel (2005). “*Poliuretanos: avances que sorprenden*”. *Tecnología del plástico*. 20, Ed. 8, p: 30-33.

- [41]. Zhou, R.; Lu, D.H.; Jiang, Y.H.; Li, Q.N. (2005). “*Mechanical properties and erosion wear resistance of polyurethane matrix composites*”. *Wear*, p: 676-683.
- [42]. Ryszkowska, Joanna L.; Auguścik, Monika; Sheikh, Ann; Boccaccini, Aldo R. (2012). “*Biodegradable polyurethane composite scaffolds containing Bioglass for bone tissue engineering*”. *Composites Science and Technology*. (70), p: 1894-1908.
- [43]. Bárbara S. Gregori Valdés, Mercedes Guerra, Greter Mieres, Livan Alba, Adolfo Brown, Norma A Rangel-Vázquez, Mercedes Sosa, Yohana de la Hoz (2008). “*Caracterización estructural de poliuretanos mediante espectroscopia ftr y rmn (1H y C13)*”. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 8 (4), p: 377-388.
- [44]. Kurzer Gotthilf, Melissa (2004). “*Biomateriales: una aproximación*”. *Editorial Universidad Pontificia Bolivariana*. 4, p: 68-73.
- [45]. Silva Spinelli, D.; Bose Filho, W.W.; Claro Neto, S.; Chierice, G.O.; Tarpani, J.R. (2006). “*Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites*”. *Composites Science and Technology*. (66), p: 1328-1335.
- [46]. Hermida, Élica Beatriz (2008). “*Módulo Materiales Poliméricos*”. Centro Nacional de Educación Tecnológica, 78 pp.
- [47]. Pineda Gómez, P.; Coral, D. F.; Arciniegas, M. L.; Rorales Rivera, A.; Rodríguez García, M. E. (2012). “*Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido*”. *Ingeniería y Ciencia*. 6 (11), p: 129-141.
- [48]. Ruiz, Gladys; Motoya, Carolina; Paniagua, Marco (2009). “*Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca*”. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*. (12), p: 67-78.
- [49]. Meneses, Juliana; Corrales, Catalina María; Valencia, Marco (2007). “*Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*”. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*. (8), p: 57-67.
- [50]. Saavedra H., Nataly; Algecira E., Néstor A. (2012). “*Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas*”. *Nova-Publicación científica en ciencias biomédicas*. 8 (14), p: 121-240.



**Luz Stella Arias Maya** es ingeniera mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. Obtuvo el grado de M.Sc. in Materials for Engineering Applications en la University of Surrey (Reino Unido); se graduó con distinción y obtuvo el reconocimiento de mejor estudiante de materiales 2008. Ha trabajado en el sector oficial y ha sido profesora en la Universidad Católica de Pereira. Actualmente es profesora de la Universidad Tecnológica de Pereira en el área de mecánica de sólidos. Cuenta con varias publicaciones

sobre materiales cerámicos y compuestos y ha dirigido proyectos de grado sobre compuestos.



**Ana Fernanda Trujillo Sánchez** inició su formación técnica en Ciencias Naturales en el CASD de Armenia. Continúo en la escuela de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2004, hasta obtener su título de Tecnóloga en Química. En la misma universidad, estudió Ingeniería Mecánica, carrera que finalizó en el año 2013 con un trabajo de grado sobresaliente.