

Utilization of coconut (*Cocos nucifera*) husk fiber for the manufacture of environmentally friendly packaging

Juvencio Brios-Avenidaño, Doctor¹, Kennedy Narciso-Gomez, Doctor¹, Bertha Villalobos-Meneses, Doctor¹, Vanessa Mancha-Alvarez, Doctor¹, Juan Ramirez-Veliz, Doctor¹, Martin Solis-Tipian¹, Nestor Gomero-Ostos, Doctor¹

¹Universidad Nacional del Callao, Perú, jhbriosa@unac.edu.pe, knarciscog@unac.edu.pe, bmwillalobosm@unac.edu.pe, vmanchaa@unac.edu.pe, jframirezv@unac.edu.pe, masolist@unac.edu.pe, ngomeroo@unac.edu.pe

Abstract— Nowadays, there is a growing concern about the environmental impact of the use of non-biodegradable materials such as plastic in the production of bags and packaging. Therefore, it is essential to look for alternatives, such as using natural fibers from fruits or vegetables, specifically coconut shells. This material is sustainable and the way in which its use is proposed is as ecological packaging, since it would help protect the environment by avoiding environmental pollution. The present study analyzed the physical, chemical and mechanical properties of coconut fiber to determine a process for manufacturing eco-friendly packaging. In addition, tests were conducted to observe how well the fiber absorbs and elongates in different random samples. This information helped to create a prototype of an ecological packaging made with coconut fiber. As a result, it was found that this is an optimal type of fiber for making ecological packaging because it absorbs and stretches easily, has a high resistance to mechanical forces and can also be degraded by bacteria, which makes it a good option for storage and packaging of objects due to the benefits offered by the use of coconut fiber.

Keywords— Fiber, coconut, manufacturing, ecological packaging, solid waste.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Utilización de la fibra de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) para la fabricación de empaques ecológicos

Juvencio Brios-Avenidaño, Doctor¹, Kennedy Narciso-Gomez, Doctor¹, Bertha Villalobos-Meneses, Doctor¹, Vanessa Mancha-Alvarez, Doctor¹, Juan Ramirez-Veliz, Doctor¹, Martin Solis-Tipian¹, Nestor Gomero-Ostos, Doctor¹

¹Universidad Nacional del Callao, Perú, jhbriosa@unac.edu.pe, knarciscog@unac.edu.pe, bmvillalobosm@unac.edu.pe, vmanchaa@unac.edu.pe, jframirezv@unac.edu.pe, masolist@unac.edu.pe, ngomeroo@unac.edu.pe

Abstract— Hoy en día, existe una creciente preocupación por el impacto ambiental del uso de materiales que no se biodegradan como el plástico, para la elaboración de bolsas y empaques. Ante ello, es primordial buscar alternativas, como la de utilizar las fibras naturales de frutas o verduras, específicamente la de la cáscara de coco. Este material es sostenible y la forma en la que se propone su utilización es como embalaje ecológico, ya que ayudaría a proteger el medio ambiente evitando la contaminación ambiental. El presente estudio analizó las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra de coco para determinar un proceso de fabricación de empaques ecológicos. Además, se realizaron pruebas para observar qué tanto se absorbe y se alarga la fibra en diferentes muestras aleatorias. Esta información ayudó a crear un prototipo de envase ecológico fabricado con fibra de coco. Como resultado, se tuvo que esta es un tipo de fibra óptima para elaborar empaques ecológicos porque se absorbe y estira fácilmente, tiene una alta resistencia a las fuerzas mecánicas y además puede ser degradada por bacterias, esto lo convierte en una buena opción para el almacenamiento y embalaje de objetos debido a las bondades que ofrece la utilización de la fibra de coco.

Keywords—Fibra, coco, fabricación, empaques ecológicos, residuos sólidos.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, es cada vez más importante utilizar materiales de embalaje amigables con el medio ambiente mediante fibras naturales para evitar problemas de calentamiento global. Uno de las fibras que está ganando reconocimiento por sus beneficios ecológicos es la fibra [1] hecha de cáscaras de coco.

Este material de embalaje no daña el medio ambiente [2], [3] y está hecho de la dura capa exterior de los cocos. Tiene una amplia gama de aplicaciones, que incluyen envasado de alimentos, aislamiento e incluso piezas de automóviles. Es una opción sostenible, renovable y biodegradable [4] que es mejor que los envases de plástico y papel, los cuales perjudican más en comparación con el tiempo que se demoran en degradar.

Hay muchas razones para elegir la fibra de cáscara de coco al crear productos como se muestra en la Fig. 1. Este material fuerte pero liviano, tiene buenas propiedades de absorción del sonido [5], no emite químicos peligrosos cuando se incinera y es completamente reciclable. Además, es un excelente aislante térmico, por lo que los productos se mantienen fríos o calientes por más tiempo cuando se

almacenan en estos recipientes. También tiene buenas propiedades de resistencia al agua, por lo que no se dañará si se expone a la humedad.

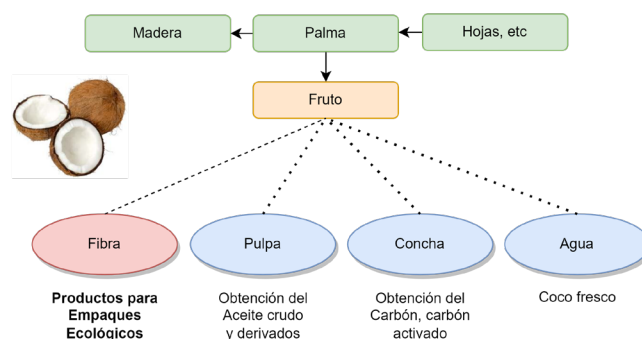


Fig 1. Usos del coco

La fibra de cáscara de coco se está convirtiendo rápidamente en una opción popular para las soluciones de envasado ecológico, ya que es respetuosa con el medio ambiente y asequible. No tiene necesidad de aditivos químicos durante la producción, lo que ayuda a mantener bajos los costos [2], [6].

A. Antecedentes

El coco es una fruta tropical versátil [7] que es originaria del sureste de Asia y las islas del Pacífico. Se utiliza en la cocina, la medicina y la industria, y el cultivo del coco es importante para las economías de muchos países. La pulpa de coco es rica en nutrientes y la leche es dulce y refrescante [8]. Las cáscaras de coco se utilizan para fabricar productos como cuerdas, alfombras [9], textiles y combustible para cocinar.

Desde hace miles de años se ha cultivado el coco (*Cocos nucifera*), y su dispersión es tan amplia que en la actualidad existe un fuerte debate sobre su centro de origen geográfico. El cocotero es considerado la joya de los trópicos y es sin duda el cultivo arbóreo más importante del mundo, con alrededor de 3,000 millones de hectáreas cultivadas, que involucra a más de 13 millones de personas relacionadas directa o indirectamente con los productos de esta planta [10]. El coco es una drupa, que puede llegar a pesar 2.5 kilogramos, requiere de 9 a 10 meses para madurar, cada palma de coco genera entre 50 y 120 unidades de este fruto [10].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

En las últimas décadas ha aumentado los usos de este material [1], gracias al estudio de sus características y los intereses por darle aplicabilidad, teniendo en cuenta el impacto ambiental que produce el no aprovechamiento del material y de no limitar sus usos al área agropecuaria [11].

La cáscara del coco (*Cocos nucifera*) es la que se utilizó en la fabricación de los empaques ecológicos, por su utilización como residuo sólido [6], [12], es una fibra multicelular bien rígida y dura debido a sus componentes: La célula y el leño [11].

A continuación, se muestra en la Fig. 2 las características de la fibra de coco

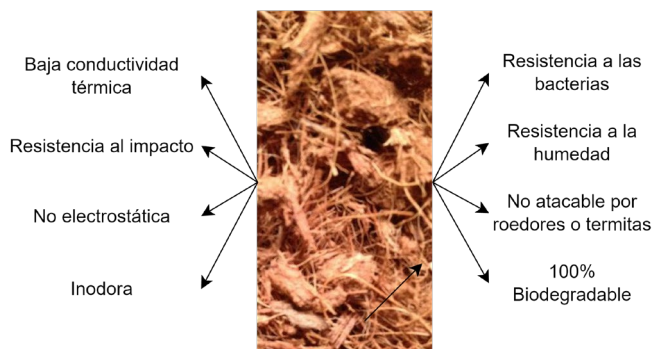


Fig. 2 Características de la fibra de coco [11]

A pesar que en el mercado existen alternativas a las bolsas plásticas como las de almidón, las bolsas realizadas con cáscaras de coco son una buena alternativa para la creación de empaques ecológicos que disminuyan la contaminación a nivel global. Por ello esta investigación, profundiza en el proceso de obtención de la fibra de la cáscara de coco y la fabricación de empaques ecológicos [13].

El sector beneficiado de la presente investigación, es la sociedad y las pequeñas y medianas empresas que actualmente elaboran productos terminados o alimentos de I, II, III, IV y V gama, que utilizan empaques para su protección, almacenamiento, y distribución amigable con el medio ambiente.

La importancia de la utilización de esta fibra más allá de lo expuesto anteriormente, es debido a que representa una excelente capacidad de retención de agua y aireación. Tiene una gran resistencia al estrés hídrico, y es totalmente biodegradable [14].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en la investigación van de acuerdo de la metodología de la investigación que se utilizó en la presente se basa en una observación documentada aplicada en los procesos que se desarrollaron para obtener la fibra a partir de la cáscara del coco, además se relaciona la misma con una metodología aplicada, exploratoria, descriptiva con el objetivo de recaudar la mayor cantidad de información, aplicando una tecnología motivada para la fabricación de empaques ecológicos.

A. Materiales utilizados

Con las cáscaras secas se empieza la obtención de las fibras de coco que es en sí un sustrato de calidad con propiedades únicas de naturaleza orgánica, sostenible y renovable. Entre los principales materiales utilizados, se tuvieron: Cáscara de Coco, Agua, Hidróxido de Sodio (NaOH) [15], [16], y aditamentos.

Para la elaboración de los empaques ecológicos, el tipo de material que se requiere es el de color marrón, ya que es la más dura y le da mayor resistencia al empaque, estos empaques ecológicos están formados por una capa de fibra de coco, que es un material natural que permite absorber y secar de manera rápida, además de ser un sustrato orgánico, 100% natural y renovable.

B. Proceso de obtención de la fibra de coco

El diagrama de bloques del proceso de la presente investigación se muestra en la Fig. 3.

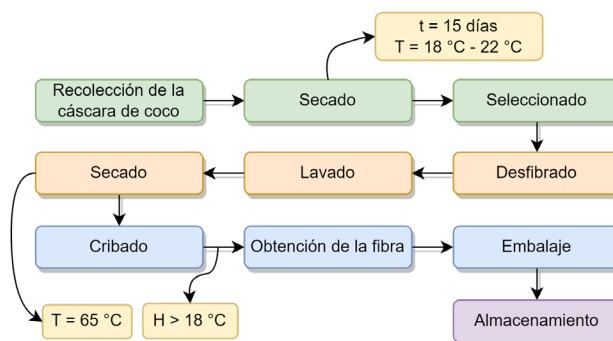


Fig. 3 Diagrama de bloques del proceso desarrollado

A continuación, se detallan las etapas del diagrama de bloques:

1) *Recolección de la cáscara de coco*: Se recolecta de forma manual de distintos lugares que desechan este material (ver Fig. 4), teniendo mayor volumen disponible y sin mayor costo.



Fig. 4 Residuos sólidos de coco

2) *Secado de la cáscara de coco*: Se deja secar la cáscara de coco durante cuatro semanas a una temperatura en el rango de 18°C – 22°C.

3) *Seleccionado*: Es importante esta etapa de la cadena de fabricación (ver Fig. 5). Las cáscaras del fruto del cocotero

son seleccionadas de forma rigurosa basándose en su estado de maduración.



Fig. 5 Selección de la fibra para las pruebas

4) *Desfibrado*: Se someten a un proceso de desfibrado, con el objetivo de separar las fibras largas, medias, cortas y granos, lo que constituye la materia prima con la que se fabrica el producto final.

5) *Lavado*: Se procede con la eliminación de sales mediante sucesivos lavados con agua de pH neutro, realizando varios controles químicos durante el proceso, para controlar la calidad del material.

6) *Secado*: El material se coloca sobre eras de secado (grandes extensiones de cemento y/o piedra refractaria); donde se alcanzan temperaturas superiores a 65 °C según muestra la Fig. 6. Estas temperaturas son óptimas para el secado y la desinfección del material.



Fig. 6 Cáscara de coco secadas al sol

7) *Cribado*: El material seco (humedad menor de 18%) pasa por un proceso de cribado con el objetivo de separar diferentes granulometrías y porcentaje de fibras.

8) *Obtención de la fibra de coco*: Obtenida la materia prima en condiciones necesarias para dar inicio al proceso de obtención de empaques ecológicos.

9) *Embalaje*: Cada producto es embalado, en que se realizan los controles fitosanitarios obligatorios.

10) *Almacenamiento*: Se almacenan durante varios meses para ser lavadas en piscinas naturales de agua dulce, la cual

permitirá desfibrar y obtener la materia que se encontrará en condiciones necesarias para el uso del proceso.

III. RESULTADOS

En la Tabla I, se muestran las características físicas, mecánicas [17] de la fibra de coco obtenida a fin de poder utilizarse como empaque ecológico.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE LA FIBRA DE COCO

Parámetro	Unidad	Valor
Absorción máxima	%	94.0
Densidad	g/cc	1.42
Diámetro de la fibra	mm	0.1 – 1.6
Longitud del bonote	cm	14 – 22
Masa específica real	Kg/m ³	1.2
Modelo de elasticidad	GPa	3.0
Resistencia a la tracción	MPa	94 – 117
Ruptura por elongamiento	%	24 – 52

Las principales características químicas de la fibra de coco generalmente se componen de hemicelulosa, celulosa, lignina y pectina.

En la Tabla II, se muestran las características químicas de la fibra de coco, siendo un material con mayor concentración de carbono C/N = 100, lo que le otorga una gran resistencia a la degradación, así como gran estabilidad.

TABLA II
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA FIBRA DE COCO

Parámetro	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	pH	5
Nitrógeno total	%	0.51
Fósforo total, P ₂ O ₅	%	0.20
Potasio total, K ₂ O	%	0.60
Calcio total, CaO	%	1.40
Magnesio total, MgO	%	0.20
Sodio total, NaO	%	0.187
Hierro total, Fe	%	0.206

En la Tabla III, se muestran los resultados de las longitudes y diámetros que nos sirvieron para el experimento realizado, para cumplir con el plan de trabajo.

Como residuo sólido, se secó la estopa y luego se extrajo la fibra, se ensayó con 10 muestras escogidas al azar como representativas de todo el conjunto de estopa que se recolectó, y se inició con la obtención de las características físicas.

TABLA III
LONGITUDES Y DIÁMETROS DE 10 MUESTRAS EXPERIMENTADAS

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro Extremo Superior (mm)	Diámetro Extremo Inferior (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1	5.9	0.10	0.065	0.085
2	5.5	0.24	0.11	0.217
3	3.9	0.30	0.23	0.283
4	5.4	0.14	0.15	0.113
5	5.3	0.21	0.185	0.193
6	5.5	0.155	0.135	0.107
7	10.1	0.16	0.395	0.388
8	5.6	0.12	0.08	0.087
9	5.3	0.12	0.12	0.113
10	7.1	0.15	0.14	0.143

Las longitudes de las muestras varían de 3.9 a 10.1 cm, y los diámetros están comprendido entre 0.05 y 0.44 mm.

La evaluación de las pruebas experimentales de absorción [3] de la fibra de coco, no se encontró norma que pudiera ser aplicable, por lo que se realizó lo siguiente:

- Se tomaron tres grupos o manojos de fibras que fueran representativas de todo el conjunto recolectado.
- Se compactaron dichas, separándolas en donde posteriormente se saturaron con agua.
- Los tiempos que se establecieron para dichos ensayos fueron: 1, 2, 5, 10, 20, 30 y 60 minutos.

Para determinar las propiedades en las fibras, se realizaron las pruebas experimentales, cada una de las muestras se ensayó de acuerdo al siguiente proceso.

Se realizó la tara del peso, se determinó el peso inicial, para determinar las lecturas de elongación [15], siendo la longitud de la fibra con carga y sin carga las analizadas.

Se tomaron los datos para visualizar el color, la textura, el diámetro de la fibra, por lo que fue necesario determinar tres lecturas, los cuales se muestran en la Tabla 4, el proceso de elongación y recuperación fue de dos repeticiones, tratando de que en la fibra se vea alguna deformación o fallas que se pudieran determinar.

En la Tabla 5, 6 y 7 se muestran los datos obtenidos en tres pruebas diferentes de acuerdo al uso de la fibra seca y húmeda del ensayo de absorción de la fibra de coco.

TABLA V
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN EN FIBRAS DE LA MUESTRA 1

Tiempo(min)	Muestra 1		
	Peso Tara (g)		36.0
	Tara + Fibra seca (g)		80.5
	Fibra seca (g)		41.6
	Tara + Fibra Húmeda (G)	Fibra Húmeda (G)	Absorción (%)
1	143.7	105.0	151.81
2	132.2	90.5	138.78
5	163.5	124.8	203.40
10	161.9	123.2	194.75
20	158.4	111.7	181.53
30	162.6	123.9	198.43
50	161.8	124.1	194.51
1440	178.6	139.9	225.09
2880	183.5	145.8	248.67
4320	178.4	136.7	235.41

TABLA VI
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN EN FIBRAS DE LA MUESTRA 2

Tiempo(min)	Muestra 2		
	Peso Tara (g)		35.0
	Tara + Fibra seca (g)		80.3
	Fibra seca (g)		42.1
	Tara + Fibra Húmeda (G)	Fibra Húmeda (G)	Absorción (%)
1	128.5	90.3	114.49

2	138.6	100.4	138.48
5	142.0	103.8	146.56
10	161.1	122.9	191.92
20	151.0	112.8	167.93
30	156.3	118.1	180.52
50	157.8	119.6	184.09
1440	181.3	143.1	239.90
2880	189.9	151.7	260.33
4320	185.2	147.0	249.17

TABLA VII
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN EN FIBRAS DE LA MUESTRA 3

Tiempo(min)	Muestra 3		
	Peso Tara (g)		37.8
	Tara + Fibra seca (g)		82.5
	Fibra seca (g)		43.7
	Tara + Fibra Húmeda (G)	Fibra Húmeda (G)	Absorción (%)
1	130.6	91.8	110.07
2	142.5	103.7	137.30
5	136.6	97.8	123.80
10	158.6	119.8	174.14
20	151.4	112.6	157.67
30	164.9	126.1	188.56
50	162.4	123.6	182.84
1440	200.3	161.5	269.57
2880	204.5	165.7	279.18
4320	205.5	166.7	181.46

En la Tabla VIII se muestra el promedio de los datos obtenidos para las diferentes pruebas de absorción de la fibra de coco.

TABLA VIII
PROMEDIO FINAL DE LOS PORCENTAJES DE ABSORCIÓN

Tiempo (min)	Muestra	Absorción (%)	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Promedio Final de Absorción
10	1	154.81	126.45	24.65	19.5	112.28
	2	114.49				
	3	110.07				
20	1	136.78	137.52	0.87	0.63	137.52
	2	138.48				
	3	137.30				
2	1	202.40	157.59	40.44	25.66	135.18
	2	146.56				
	3	123.80				
30	1	193.75	186.60	10.83	5.80	186.60
	2	191.92				
	3	174.14				
5	1	180.53	168.71	11.45	6.79	168.71
	2	167.93				
	3	157.67				
4	1	195.43	188.17	7.46	3.97	188.17
	2	180.52				
	3	188.56				
1	1	193.51	186.81	5.83	3.12	188.81
	2	184.09				
	3	182.84				

En la Tabla IX, se muestra las pruebas de fuerza que se realizaron sobre 10 muestras experimentales.

TABLA IX
ESFUERZOS MÁXIMOS OBTENIDOS DE 10 MUESTRAS EXPERIMENTALES

Muestra N°	Diámetro Menor (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
1	0.007	3.85E-05	0.17400	4521.30
2	0.005	1.96E-05	0.07703	3923.11
3	0.027	5.73E-04	0.45015	786.21
4	0.009	6.36E-05	0.17230	2708.38
5	0.015	1.77E-04	0.30040	1699.92
6	0.009	6.36E-05	0.16070	2526.04
7	0.033	8.55E-05	0.64410	753.07
8	0.006	2.83E-05	0.11140	3939.97
9	0.01	7.85E-05	0.17600	2240.90
10	0.014	1.54E-04	0.34900	2267.15

En la Tabla X se aprecia las pruebas realizadas de las 10 muestras.

TABLA X
TABULACIÓN DE ESFUERZOS MÁXIMOS DE LAS MUESTRAS

Clases	Intervalo		F Abs	F Rel	x	F (x)	F(x-X) ²
	LI	LS					
1	753.05	1 466.82	8	0.27	1 109.94	8 879.52	14 201 692.75
2	1 466.82	2 180.59	7	0.23	1 823.71	12 765.97	2 678 667.49
3	2 180.59	2 894.36	6	0.20	2 537.48	15 224.88	54 343.21
4	2 894.36	3 608.13	2	0.07	3 251.25	6 502.50	1 308 765.69
5	3 608.13	4 321.90	4	0.13	3 965.02	15 860.08	9 274 574.86
6	4 321.90	5 035.67	3	0.10	4 678.79	14 036.37	15 005 519.43
Σ			30	1.00	-	73 269.32	42 523 563.42

Se obtuvieron los siguientes datos estadísticos:

x: Promedio de Intervalos

X: Media Aritmética = 2442.21 kg/cm²

S: Desviación estándar = 1210.92 kg/cm²

CV: Coeficiente de variación = 49.58%

La media aritmética resultó de la tabulación que fue de 2442.31 kg/cm², valor del esfuerzo máximo del conjunto de datos, la desviación estándar de 1210.92 kg/cm² está disperso el conjunto de datos con relación a la media aritmética, esto se refleja con el coeficiente de variación del 49.58%, demasiado alto.

Para la formulación del resultado, se realizó una selección de muestras que se encuentran cercanas a la media aritmética tomando como coeficiente de desviación del 10% para que el ensayo de fuerza – elongación sea lo más representativo y la incertidumbre sea la menor posible.

De las 10 muestras, 4 son las que presentan esfuerzos máximos cercanos a la media aritmética de 2442.31 kg/cm² tomando como límite superior 2686.54 kg/cm², y como límite inferior 2198.08 kg/cm².

De acuerdo a los procedimientos empleados para la utilización de la fibra de la cáscara de coco (Cocos nucifera) para la fabricación de empaques ecológicos, de haber empleado las observaciones en forma cualitativa y mostradas en las tablas y valores numéricos y los datos que contienen los procesos de las pruebas y determinadas las variables del procesamiento de la fibra de coco y la determinación de los

parámetros tecnológicos de la composición química y el diagrama de flujo (Ver Fig. 3) de flujo han permitido el estudio de la utilización de la fibra de la cáscara de coco, siendo este proceso explicativo, descriptivo e experimental.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado en la presente investigación es la utilización de la fibra de coco obtenida de la cáscara o estopa. Realizado los ensayos de la fibra obtenida para el uso de la fibra para empaques ecológicos, se puede mencionar que la fibra absorbe una gran cantidad de agua en un tiempo mínimo, más de 100% en un minuto con relación a su peso, en 10 minutos la fibra alcanza el límite de absorción.

La contrastación de la fuerza de elongación en este trabajo obtuvo un amplio margen de resultados de esfuerzos debido a la cantidad de muestras aleatorias de la cáscara de la fibra de coco.

La elongación máxima promedio del conjunto de fibras ensayadas estuvo en el orden del 15%. Las fibras de menor diámetro son las que presentan mayor valor de esfuerzo según lo analizado.

La contrastación con los análisis químicos efectuados en las fibras, fueron lo siguiente:

- Contenido de Hemicelulosa = 34%
- Contenido de Celulosa = 18%
- Contenido de Lignina = 26%

Al haber realizado los experimentos con la utilización de la fibra obtenida de la cáscara de coco, se obtuvo la fuerza, la resistencia y elongación de la fibra a fin de utilizar en la fabricación de empaques ecológicos con las especificaciones que se muestran debido a sus características físicas-químicas y mecánicas y las pruebas experimentales.

Con relación al uso que se le puede dar a las cáscaras de coco debe iniciarse con un lugar que acopie todas las cáscaras de coco para almacenarlo, procesarlo, empacarlo y comercializarlo.

Los usos de la cáscara de coco son múltiples entre los que se encuentra la creación de fibras, cuerdas, cepillos, carbón, sustrato para la agricultura y creación de piezas o accesorios de vehículos. En ninguno de los usos expuestos anteriormente no se cuenta con la tecnología para desarrollar dichos productos

Al haber realizado los experimentos para la obtención y utilización de la fibra de coco (Cocos nucifera) con un porcentaje de aditamentos orgánicos. Se obtuvo como resultado el empaque ecológico, unificando los objetivos planteados, con la conceptualización; la dimensión del ensayo, los indicadores, las técnicas utilizadas basadas en la Norma Técnica aplicables para la determinación de las propiedades de fuerza y elongación de la fibra de coco. Para determinar las propiedades mecánicas [18] de las fibras vegetales aun no existen normas específicas, por lo tanto, es indispensable apegarse a alguna norma que pudiera ser aplicable para tal

efecto. La norma que más se apega para conocer las propiedades mecánicas de la fibra de coco es la Norma ASTM O 3,822 -17 (Activa).

Siendo el coco una drupa que está formada por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales constituido por la estopa (mesocarpio), que se encuentra entre el exocarpio duro (cubierta externa), y el endocarpio, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra, de la cual se pueden distinguir tres tipos: una larga y fina, una tosca y una más corta, se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado, en la fabricación de empaques ecológicos. Siendo el problema la utilización de la cáscara como fibra para la creación de empaques ecológicos con el aprovechamiento de los residuos sólidos de forma artesanal, utilizando solo el agua y ser utilizados para obtener beneficios adicionales, entre ellos la generación de fibra como materia prima por medio de la utilización de la cáscara para la obtención de empaques ecológicos. Adicionalmente se debe aprovechar estos residuos de los grandes comercializadores de la zona de climas tropicales con la utilización a nivel industrial.

Con el propósito de mejorar la compatibilidad de la fibra de coco usó un aditamento que mediante un proceso las fibras se convirtieron en una solución de hidróxido de sodio a una concentración de 5% (NaOH), durante 60 minutos reduciendo la lignina, toda vez que la obtención del empaque es netamente artesanal.

En esta contrastación de resultados también cabe mencionar que la utilización de la fibra de coco de la cáscara de coco, es diversa dada al uso que se le dé, como colchones, aceite, etc. a fin de ser amigables con el medio ambiente.

V. RECOMENDACIONES

Almacenar y producir productos con estos insumos que permitan su aprovechamiento en sitios de mayor consumo.

Crear programas de información dando a conocer que la cáscara de coco es aprovechable para evitar la contaminación ambiental con el uso del desecho de la cáscara, para lo cual se pueda lograr el intercambio de dinero por el material de desecho. Además de implementar un sistema de innovación científica para el aprovechamiento del desarrollo interno y externo del país.

REFERENCIAS

[1] A. Selamat, S. S. A. Ghani, M. I. E. Halmi, and U. H. Zaidan, "Properties of coconut (Cocos nucifera) husks and its fiber potentials," presented at the 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, p. 050002. doi: 10.1063/5.0104849.

[2] E. M. Shcherban' *et al.*, "Normal-Weight Concrete with Improved Stress-Strain Characteristics Reinforced with Dispersed Coconut Fibers," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 22, p. 11734, Nov. 2022, doi: 10.3390/app122211734.

[3] B. Ali, M. A. Farooq, M. H. El Ouni, M. Azab, and A. B. Elhag, "The combined effect of coir and superplasticizer on the fresh, mechanical, and long-term durability properties of recycled aggregate concrete,"

Journal of Building Engineering, vol. 59, p. 105009, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.105009.

[4] O. Ogunbiyi *et al.*, "Strength Characteristics of Electrospun Coconut Fibre Reinforced Poly(lactic Acid): Experimental and Representative Volume Element (RVE) Prediction," *Materials*, vol. 15, no. 19, p. 6676, Sep. 2022, doi: 10.3390/ma15196676.

[5] U. Berardi and G. Iannace, "Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications," *Building and Environment*, vol. 94, pp. 840–852, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.05.029.

[6] S. N. I. H. A. Nadzri *et al.*, "A comprehensive review of coconut shell powder composites: Preparation, processing, and characterization," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 35, no. 12, pp. 2641–2664, Dec. 2022, doi: 10.1177/0892705720930808.

[7] K. M. F. Hasan, P. G. Horváth, M. Bak, and T. Alpár, "A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites," *RSC Adv.*, vol. 11, no. 18, pp. 10548–10571, 2021, doi: 10.1039/D1RA00231G.

[8] J. L. Escalante, "Leche de coco: propiedades, beneficios y valor nutricional," *La Vanguardia*, Feb. 13, 2019. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20190213/46237256011/leche-coco-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html> (accessed Jan. 22, 2023).

[9] Y. E. Ricapa García, E. N. Saldaña Cristóbal, D. Z. Samán Matías, and M. V. Vilchez Sánchez, "Elaboración de alfombras a partir de fibras de residuos de coco," Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú, 2020. Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/10539>

[10] D. Granados-Sánchez and G. F. López-Ríos, "Manejo de la palma de coco (cocos nucifera l.) en México," *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 8, pp. 39–48, 2002.

[11] M. E. Quintanilla Alas, "Industrialización de la fibra de estopa de coco," Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2017. Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/431>

[12] L. F. de S. Antunes *et al.*, "Sustainable organic substrate production using millicompost in combination with different plant residues for the cultivation of *Passiflora edulis* seedlings," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 28, p. 102612, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.eti.2022.102612.

[13] K. Cubilla, Y. González, G. Montezuma, M. Samudio, and E. Gómez, "Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable," *RIC*, vol. 5, no. 2, pp. 15–20, Mar. 2020, doi: 10.33412/rev-ric.v5.2.2496.

[14] R. M. G. García, J. F. López Fernández, M. A. Muzha Chávez, and K. D. Villafuerte Rodríguez, "Proceso de obtención de fibra de coco para fabricar colchones ecológicos hipoalérgicos en la comuna Sacachún," *Revista Empresarial*, vol. 11, no. 44, Art. no. 44, 2017, doi: 10.23878/empr.v11i44.107.

[15] S. Ru, C. Zhao, and S. Yang, "Multi-Objective Optimization and Analysis of Mechanical Properties of Coir Fiber from Coconut Forest Waste," *Forests*, vol. 13, no. 12, 2022, doi: 10.3390/f13122033.

[16] P. X. T. Nguyen *et al.*, "A comparative study on modification of aerogel-based biosorbents from coconut fibers for treatment of dye- and oil-contaminated water," *Materials Today Sustainability*, vol. 19, p. 100175, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.mtsust.2022.100175.

[17] Z. Tang, Z. Li, J. Hua, S. Lu, and L. Chi, "Enhancing the damping properties of cement mortar by pretreating coconut fibers for weakened interfaces," *Journal of Cleaner Production*, vol. 379, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134662.

[18] J. Chávez and A. Alva, "Propiedades físicas y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco," in *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy," 2020. doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.447.