



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Obtención de biomasa lignocelulósica de fibra del mesocarpio del coco  
(*Cocos nucifera L.*) para la aplicación en un vaso biodegradable**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**ZAMORA MARTÍNEZ JULIO CESAR**

**ASESORAS:**

**M. EN C. SELENE PASCUAL BUSTAMANTE**

**DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ**

**Cuatitlán Izcalli, Edo. de México, Diciembre 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASENTO VOTO APROBATORIO



UNAM  
CUAUTITLÁN  
Jefa del Departamento de Titulación  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN  
de la FES Cuautitlán.

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN CALDERAMA BRAVO  
Jefa del Departamento de Titulación  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: Tesis y examen profesional

**Obtención de biomasa lignocelulósica de fibra del mesocarpio del coco (Cocos nucifera L.) para la aplicación de un vaso biodegradable.**

Que presenta el pasante: **Julio Cesar Zamora Martinez**

Con número de cuenta: **415005975** para obtener el título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de junio de 2023.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Q. Celestino Silva Escalona	
<b>VOCAL</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
<b>SECRETARIO</b>	M. en C. Selene Pascual Bustamante	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Dulce María Oliver Hernández	
<b>2do. SUPLENTE</b>	I.M.E. Carla López Chávez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

## ÍNDICE

Índice de tablas	i
índice de figuras	ii
Resumen	iv
Introducción	1
1 Generalidades	2
1.1 La agroindustria y el medio ambiente	2
1.2 Manejo de los residuos agrícolas en México	2
1.3 Producción agrícola en México	4
1.4 Generalidades del coco	5
1.4.1 Diversidad	7
1.4.2 Producción de coco en México	7
1.4.3 Industrialización del coco	9
1.4.4 Usos de los residuos agrícolas del coco	10
1.5 Composición química del coco	12
1.6 Biomasa lignocelulósica	13
1.6.1 Celulosa	13
1.6.1.1 La celulosa en la industria	15
1.6.2 Hemicelulosa	16
1.6.3 Lignina	17
1.7 Extracción de biomasa lignocelulósica	17
1.7.1 Hidrólisis ácida y alcalina	18
1.8 Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos	19
1.8.1 Envases	20
1.8.1.1 Tipos de envases	20
2 Objetivos	25
3 Materiales y métodos	26
3.2 Material biológico	27
3.3 Tratamiento de la muestra	27
3.4 Extracción de la biomasa lignocelulósica	27
3.5 Establecimiento de formulación de aglutinante para el desarrollo del prototipo de envase	29
3.6 Desarrollo del prototipo de envase	30
3.7 Preparación de la tierra para la biodegradación del vaso	31
3.8 Preparación de materiales del envase y distribución en diferentes condiciones de suelo y temperatura	32
3.9 Técnicas analíticas	34
3.9.1 Propiedades físico-mecánicas	34
3.9.1.1 Capacidad de retención de agua	34
3.9.1.2 Capacidad de retención de aceite	34

3.9.1.3 Módulo de elasticidad	34
3.9.1.4 Absorción de agua	36
3.9.1.5 Absorción de aceite	37
3.9.2 Determinación de biodegradabilidad	38
3.9.2.1 Medición de pH de suelos	38
3.9.2.2 Biodegradación	38
4 Análisis estadísticos	38
5 Resultados y discusión	39
5.1 Extracción de las fibras lignocelulósicas del mesocarpio del coco	39
5.1.1 Rendimiento	39
5.2 Propiedades funcionales	40
5.2.1 Capacidad de retención de agua	40
5.2.2 Capacidad de retención de aceite	41
5.3 Propiedades mecánicas	42
5.4 Evaluación de biodegradación del prototipo	45
6 Conclusiones	49
7 Recomendaciones	50
8 Bibliografía	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principales productos que se generaron en México durante el 2019	5
<b>Tabla 2.</b> Producción agrícola 2019	8
<b>Tabla 3.</b> Aprovechamiento del fruto coco	9
<b>Tabla 4.</b> Contenido nutricional del agua de coco (100 ml)	12
<b>Tabla 5.</b> Composición química del mesocarpio de coco	12
<b>Tabla 6.</b> Productos elaborados a partir de desechos agroindustriales	20
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de envases	21
<b>Tabla 8.</b> Productos elaborados de polisacáridos	23
<b>Tabla 9.</b> Formulación del aglutinante	29
<b>Tabla 10.</b> Condiciones de biodegradación	32
<b>Tabla 11.</b> Procedimiento para las pruebas de biodegradación de prototipos	33
<b>Tabla 12.</b> Seguimiento fotográfico de la degradación del prototipo de envase durante el almacenamiento a 90 días en diferentes condiciones.	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso en las plantas de aprovechamiento de residuos	3
<b>Figura 2.</b> CO: monóxido de carbono, COV: compuestos orgánicos volátiles, NH <sub>3</sub> : amoníaco, NO <sub>x</sub> : óxidos de nitrógeno, PM <sub>2.5</sub> : partículas iguales o menores a 2.5 micrómetros, PM <sub>10</sub> : partículas iguales o menores a 10 micrómetros, SO <sub>2</sub> : dióxido de azufre	4
<b>Figura 3.</b> <i>Cocos nucifera</i> L.	6
<b>Figura 4.</b> Principales productores de coco	8
<b>Figura 5.</b> Partes que componen el coco	10
<b>Figura 6.</b> Estructura de biomasa lignocelulósica	13
<b>Figura 7.</b> Estructura primaria de la celulosa	14
<b>Figura 8.</b> Estructura de la pared celular de la célula vegetal	15
<b>Figura 9.</b> Estructura de la hemicelulosa	17
<b>Figura 10.</b> Diagrama de proceso de la extracción de la fibra del coco	27
<b>Figura 11.</b> Diagrama de proceso de elaboración del aglutinante	30
<b>Figura 12.</b> Diagrama de proceso de elaboración del prototipo de envase	31
<b>Figura 13.</b> Esfuerzo de cadencia superior e inferior	35
<b>Figura 14.</b> Determinación del módulo de elasticidad	36
<b>Figura 15.</b> Determinación de capacidad de retención de agua/aceite (A) Agitador vortex DLab MX-S (B) Centrífuga Daigger 4350, (C) Balanza Ohaus Pioneer	37
<b>Figura 16.</b> Determinación de pH (A) Filtración de agua neutra (B) Pastillas reactivas, (B') Potenciómetro	37
<b>Figura 17.</b> Rendimiento de fibra	40
<b>Figura 18.</b> Capacidad de retención de agua para las formulaciones 1 y 2, fibra con aglutinante	41
<b>Figura 19.</b> Capacidad de retención de aceite para las formulaciones 1 y 2, fibra con aglutinante	42
<b>Figura 20.</b> Es la representación del módulo de elasticidad de formulación 1	43
<b>Figura 21.</b> Módulo de elasticidad de las formulaciones 1 y 2 de aglutinantes utilizados para el prototipo de envase	44
<b>Figura 22.</b> Gráfico de biodegradación de las muestras en suelo ácido y alcalino	45

## RESUMEN

El sector de la agroindustria representa una de las mayores áreas que ayuda la economía de nuestro país debido a la geografía de México tiene, siendo un país rico tanto en ecosistemas como en variedad de cultivos de frutas y hortalizas. Contribuye en el desarrollo de actividades primarias durante la transformación de materia prima para obtener un producto final, a consecuencia da como resultado desechos orgánicos que en su mayoría son poco aprovechables, negando así la oportunidad de lograr un producto de valor agregado y por otro lado reduciendo las emisiones de partículas de carbono hacia al ozono.

Por tal motivo el objetivo de este proyecto es el aprovechamiento de las fibras del mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.) haciendo la extracción de la biomasa lignocelulósica para el desarrollo de un vaso biodegradable con la finalidad de reducir el consumo del plástico.

Los residuos de coco fueron obtenidos de la central de Abastos de la Ciudad de México. Las fibras del mesocarpio de coco se dejaron secar directamente al sol para posteriormente ser tratadas químicamente, realizándose cuatro hidrólisis semicontinuas (NaOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Las fibras extraídas en cada hidrólisis fueron evaluadas mediante pruebas de rendimiento, propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, retención de agua y retención de aceite), calidad del envase (prueba de rotura, dimensiones, determinación del peso, resistencia al impacto por caída libre entre 1 a 2.3 m, capacidad de rebose, permeabilidad de vapor, determinación de la absorción superficial de agua) y biodegradación (tratamiento en suelos a diferentes condiciones). Los resultados obtenidos para la fibra del tratamiento (5 % NaOH con 0.44 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) presentaron mayor rendimiento para la elaboración del envase debido a que registró el 54.11 % de rendimiento. Para asegurar la resistencia del envase se evaluaron dos formulaciones de aglutinante elaborado con almidón de yuca, vinagre, glicerina y agua para el módulo de elasticidad la mezcla que presentó mayor elasticidad fue la formulación 2 (almidón de yuca 15 %, vinagre 15 %, glicerina 12 % y agua 58 %). En cuanto a las propiedades de la fibra con el aglutinante tuvo

un 3.23 % de capacidad de retención de agua más que la formulación 1 (almidón de yuca 15 %, vinagre 15 %, glicerina 15 % y agua 55 %) y un 10.75 % de retención de aceite. Posteriormente se determinó la calidad de vaso mediante pruebas descritas en el protocolo para el control de calidad de envases de plástico (prueba de rotura, dimensiones, determinación del peso, resistencia al impacto por caída libre entre 1 a 2.3 m, capacidad de rebose, permeabilidad de vapor, determinación de la absorción superficial de agua), utilizados en la industria farmacéutica, de domésticos y de alimentos. Por último, se evaluó de biodegradación del envase sometándolo a condiciones de suelo ácido, suelo neutro y suelo alcalino y sus combinaciones a 25 °C, 50 °C y 37 °C a una humedad constante de 40 % teniendo como resultado el 100 % de degradación en suelo alcalino. Por lo que el desarrollo de un vaso biodegradable elaborado a partir de la fibra del coco es una opción tecnológicamente viable y para la reducción de la contaminación de los desechos agroindustriales.

## INTRODUCCIÓN

Es conocido que las agroindustrias, entendidas aquí como un componente del sector manufacturero en el que la adición de valor a las materias primas agrícolas deriva de operaciones de procesamiento y manipulación, son motores eficientes de crecimiento y desarrollo (FAO,2013).

A partir del marco de referencia anterior, se puede entonces decir que los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social (Saval, 2012).

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos en la República Mexicana; en la industria del plátano se produce gran cantidad de residuos, ya que de la planta solo se aprovecha el fruto. En el caso del coco, sus residuos se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas (Galeana, 2017).

Considerando que los subproductos agroindustriales generados desde el lugar de siembra y los que se derivan de su manejo y comercialización constituyen un serio problema de residuos en gran parte del mundo debido principalmente a que se han experimentado aumentos en la producción (Yepes *et al.*, 2008).

Por ello, surge la necesidad de conversión de estos en un producto útil y de mayor valor agregado, que además de solucionar un problema, genere ingresos económicos adicionales; de ahí la importancia del estudio de alternativas tecnológicas tendientes al aprovechamiento de los residuos agroindustriales (Yepes *et al.*, 2008; Mirabella *et al.*, 2014). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es el

desarrollo de un vaso biodegradable a partir de las fibras del mesocarpio del coco, variando las concentraciones ácido-alcalinas de la hidrólisis con la finalidad de obtener biomasa lignocelulósica con mayor rendimiento para la obtención de un vaso biodegradable que tenga utilidad en la industria de alimentos.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. La agroindustria y el medio ambiente**

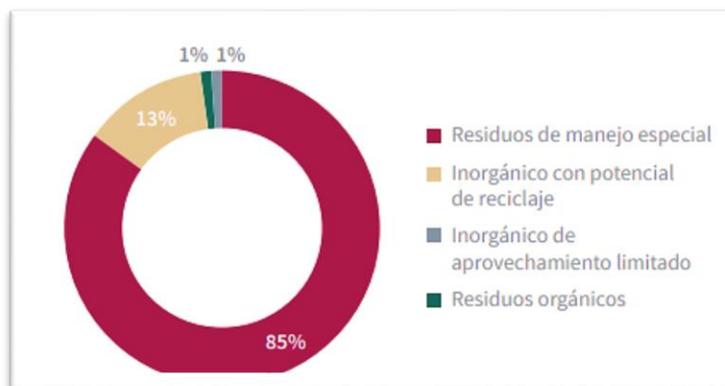
En la actualidad las agroindustrias no sólo son valoradas por su desempeño productivo y económico, sino también por su relación con el medio ambiente (Wadhwa *et al.*, 2013). Los esfuerzos para enfrentar la contaminación generada por las industrias se concentraron en el tratamiento de los residuos “al final del proceso” lo que ha conducido a que la atención haya estado centrada en como eliminar los residuos una vez que estos han sido generados (CPTS, 2003).

Considerando que los subproductos agroindustriales generados desde el lugar de siembra y los que se derivan de su manejo y comercialización constituyen un serio problema de residuos en gran parte del mundo debido principalmente a que se han experimentado aumentos en la producción (Yepes *et al.*, 2008). Por ello, surge la necesidad de conversión de estos en un producto útil y de mayor valor agregado, que además de solucionar un problema, genere ingresos económicos adicionales; de ahí la importancia del estudio de alternativas tecnológicas tendientes al aprovechamiento de los residuos agroindustriales (Yepes *et al.*, 2008; Mirabella, 2014).

### **1.2 Manejo de los residuos agrícolas en México**

En México existen plantas de tratamiento o de aprovechamiento de los residuos son las instalaciones expresamente dedicadas para la valorización de los residuos.

Deberían ser el destino de todos los residuos que pueden ser aprovechados o valorizados en el país, sin embargo, el número de plantas disponibles es muy limitado (figura 1), por lo que en la mayoría de los casos para los residuos es la quema de estos (SEMARNAT, 2020).

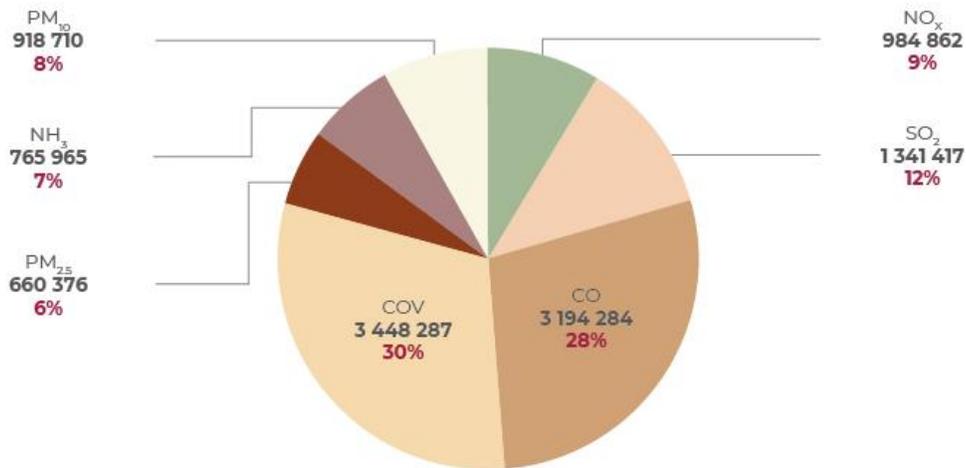


**Figura 1.** Composición de los residuos [t/día].

**Fuente:** INEGI 2020 (Inventario de los residuos sólidos de la Ciudad de México).

La quema agrícola es una práctica tradicional muy común en México para eliminar residuos no deseados de cosechas de maíz, frijol, trigo, arroz y otros granos. También se queman ramas y malezas en huertos de árboles frutales, nogales y viñedos. Desafortunadamente, en ese proceso también puede producirse la quema de costales y plásticos usados en invernaderos y zanjas, costales de insecticida y fertilizantes, papel y plásticos para protección (utilizados, por ejemplo, en los cultivos de plátanos y dátiles) y bandejas de secado, entre otros, mezclados con residuos de cultivos, lo que contribuye aún más a la contaminación (SEMARNAT, 2018).

En la figura 2 se muestran los principales contaminantes generados por los 2 residuos agroindustriales.



**Figura 2.** CO: monóxido de carbono, COV: compuestos orgánicos volátiles, NH<sub>3</sub>: amoníaco, NO<sub>x</sub>: óxidos de nitrógeno, PM<sub>2.5</sub>: partículas iguales o menores a 2.5 micrómetros, PM<sub>10</sub>: partículas iguales o menores a 10 micrómetros, SO<sub>2</sub>: dióxido de azufre.

**Fuente:** Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC, SEMARNAT (2018).

Teniendo en cuenta el aumento de la contaminación ambiental, se conduce a la necesidad de realizar a la recuperación y la reutilización algunos contaminantes como son los residuos sólidos orgánicos agrícolas que se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales agrícolas, y que por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan usos alternativos para dichos residuos (Kadirvelu *et al.*, 2003).

### 1.3 Producción agrícola en México

La agricultura es el cultivo de diferentes plantas, semillas y frutos, para proveer de alimentos al ser humano o ganado, y de materias primas a la industria. Gracias a la diversidad de climas, en México se cultiva una gran variedad de especies (tabla 1).

**Tabla 1.** Principales productos en intención de cosecha en México durante el 2023

<b>Producto</b>	<b>Producción en hectáreas</b>
Maíz	29,408,185.26
Frijol	1,300,575.07
Papa	2,099,339.63
Café cereza	1,059,584.74
Caña de azúcar	57,068,257.09
Trigo	3,725,963.90
Naranja	5,069,177.64
Cebada	1,069,359.19
Fresa	625,028.52
Mango	2,342,339.90
Durazno	240,698.46
Limón	3,287,146.17
Chile verde	3,647,100.84
Aguacate	2,673,876.06
<b>Coco</b>	<b>242,546.10</b>
Plátano	2,781,282.56
Soya	380,484.11
Manzana	829,330.06
Jitomate	3,785,865.99
Uva	475,240.57
Arroz	301,216.16

**Fuente:** SAGARPA (2023)

Dentro de los productos que principalmente se producen en nuestro país, se encuentra el coco, el cual no solo se consume como producto en fresco, si no también se industrializa en grandes cantidades debido a que es una fuente de compuestos lipídicos los cuales son muy apreciados en la industria.

#### **1.4 Generalidades del coco**

*Cocos nucifera* L. (figura 3) pertenece a la familia Palmae, que comprende un solo género. La palabra coco proviene del portugués “cocu” con referencia al fruto, que

sugiere una cara de mono (Mc-Currach, 1970). *Cocos nucifera* L. se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de África, el Caribe y América del sur. De esta especie se conocen individuos silvestres. Su mayor variabilidad se presenta en el sureste asiático y en segundo lugar en el Caribe grande y jugoso, sería el resultado de selección humana (Gibbons, 1996).



**Figura 3.** *Cocos nucifera* L.

El fruto de la planta contiene una sola semilla de 20 a 30 cm de diámetro, que pesa alrededor de 1,2 a 2 kg con epicarpio brillante y mesocarpio fibroso de color castaño a rojizo; el endospermo está formado por una porción carnosa (copra) y agua, el cual requiere alrededor de 12 meses para madurar (Cardona *et al.*, 2003; Granados Sánchez y López Ríos, 2002).

El coco tiene forma de ovoide como la Tierra. Este fruto está cubierto de fibras, y su cáscara es amarillenta, correosa y fibrosa, de cuatro a 5 centímetros de espesor, con pelos fuertemente adheridos a la nuez. Adentro se encuentra el endocarpio, una capa fina y dura de color marrón, llamada también hueso o concha. Luego se

encuentra el albumen sólido o copra, que forma una cavidad grande. Adentro se aloja el agua de coco, o albumen líquido (SAGARPA, 2016).

#### 1.4.1 Diversidad

Existen 77 variedades de cocoteros altos: 15 de Filipinas, 11 de India, 13 de Malasia, 10 de Vietnam, 10 de Nueva Caledonia, 9 de Sri Lanka, 2 de Indonesia, 2 de Seychelles, 1 de Nueva Guinea, 1 de Conchinchina, 1 de Siam, 1 de Fiji y 1 de América; y 17 variedades de cocoteros enanos: 6 de Filipinas, 5 de la India, 2 de Malasia, 2 de Fiji, 1 de Sri Lanka y 1 de Vietnam (Menon y Pandalal, 1958).

En México hay tres tipos de cocoteros en explotación: el tipo “Caribe” (que crece en toda la zona del Golfo de México y el Caribe), el “Pacífico” (variedad típica de la costa del Pacífico) y el enano “Malasia”. Se distribuyen en 13 estados de la República mexicana, al sur del Trópico de Cáncer (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002).

En México existen dos tipos contrastantes de cocotero, en cuanto a características genotípicas. Esas corresponden, en términos generales a las descritas por (Harries, 1977) como tipo silvestre “*niu kafa*” y tipo doméstico “*niu val*”, distribuidos en las costas del atlántico y del pacífico, respectivamente.

#### 1.4.2 Producción de coco en México

Gracias a la diversidad de climas, en México se cultiva una gran variedad de especies. México cuenta con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas de las cuales 145 millones se dedican a la actividad agropecuaria. En México se tiene reportada una producción cerca de las 200,000 toneladas, siendo las principales entidades productoras Guerrero, Colima, Tabasco y Oaxaca, las cuales también son

las que producen la mayor parte de la copra del país (tabla 2) (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002).

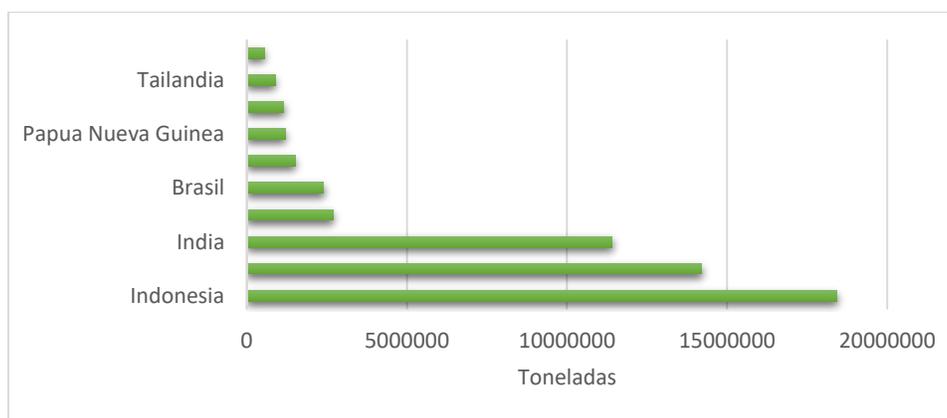
**Tabla 2.** Producción agrícola de coco 2023.

Fruto	Superficie sembrada [hectáreas]	Producción [toneladas]	Rendimiento [toneladas/hectáreas]
Coco	128,810.99	242,546.1	1.88

**Fuente:** SAGARPA (2023)

Los mayores productores se localizan en dos grandes regiones: La del Golfo y Caribe, en las costas de Tabasco, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. La del Pacífico; en las costas de Guerrero (Costa grande y costa chica), Colima, Oaxaca, Michoacán, Sinaloa, Jalisco y Chiapas.

El consumo de la palma de coco tiene gran demanda en todo el mundo gracias a sus propiedades nutritivas y su particular sabor. El mayor productor de coco es el país de Indonesia con una producción aproximada de 18,427,302.3 de toneladas, mientras que México ocupa el octavo lugar con una producción aproximada de 1,157,614 toneladas (figura 4).



**Figura 4.** Principales países productores de coco

**Fuente:** FAO (2020)

### 1.4.3 Industrialización del coco

En la literatura se hace énfasis en que el coco tiene muchas posibilidades para ser utilizado a nivel industrial. De hecho, se pueden obtener productos benéficos para el hombre desde las raíces hasta las hojas. Sin embargo, el aprovechamiento principal que se le da es en el fruto: agua, carne, cáscara y concha (Cifuentes *et al.* 2011). Por medio de procesos industriales se pueden obtener diversos productos y subproductos. A nivel general se consume en mayor medida la semilla de la cual se pueden generar diversos productos en la tabla 3 se muestran algunos ejemplos de estos.

**Tabla 3.** Aprovechamiento del fruto coco

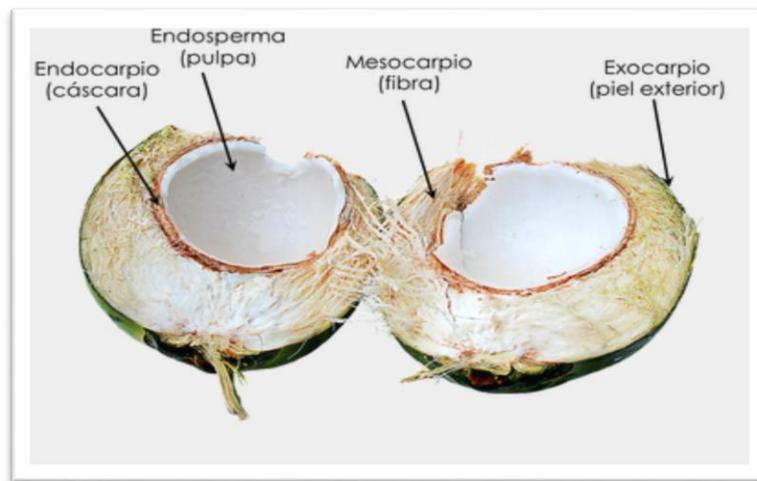
Uso	Parte del coco
	<p><b>Tallos y hojas:</b> El tallo, por su resistencia y flexibilidad, suele utilizarse localmente, como producto maderable en la construcción de casas (postes, marcos, pisos, entramados, etc.) y en la fabricación de muebles.</p>
	<p><b>Yemas, flores e inflorescencia:</b> Las yemas terminales se comen en ensalada o en guisos. De los racimos jóvenes de flores de los cocoteros se obtiene un jugo dulce o ponche, que es una bebida refrescante muy dulce que contiene un 16 % de sacarosa. De ella se obtiene azúcar de palma o bien se hace fermentar para elaborar aguardiente, vino de palma (“tuba”), “<i>arrak</i>” o vinagre.</p>
	<p><b>Fruto:</b> La parte fibrosa del fruto (epicarpio y mesocarpio) en la fabricación de ropa fina resistente al agua de mar y en general en la manufactura de cepillos, cordeles, sogas, alfombras, filtros, relleno de colchones y almohadas, etc. Además, por su alto contenido de lignina es un buen combustible. La concha o porción dura del fruto (endocarpio) es utilizada para fabricar diversos utensilios caseros y objetos artísticos principalmente de tipo artesanal, así como tableros de aglomerado. Esta tiene una composición similar a las maderas duras, alto contenido de lignina y menor de celulosa, por lo que se utiliza directamente como combustible o para elaborar carbón combustible y carbón activado.</p>
	<p><b>Semillas:</b> En comunidades y pueblos, donde se desarrolla la palma de coco, de la semilla se extrae la parte blanca o “carne” y la “crema”, los cuales son la base de muchos platillos, antojos y postres.</p>

**Fuente:** Schwitzer (1985).

A partir de la industrialización del coco se genera una cantidad importante de residuos que en su mayoría no se recicla y son quemados o desechados, lo cual impacta al medio ambiente.

#### 1.4.4 Usos de los residuos agrícolas del coco

La fibra de coco es un material natural renovable extraído de la capa externa del coco del fruto de la palmácea o cocotero. El fruto del coco (figura 5) está compuesto por la cáscara (mesocarpio y exocarpio), casco o hueso (endocarpio) y albumen o carne (endospermo).



**Figura 5.** Partes que componen el coco

**Fuente:** Productos de coco orgánico (2021)

El mesocarpio o fibra se utiliza en tapicería, fabricación de colchones, cuerdas, entre otros. La fibra de coco es un material resistente a la putrefacción y no requiere tratamientos químicos; posee una durabilidad y tensión alta frente a otras fibras naturales, lo que lo hace un material atractivo para el presente trabajo (Novoa, 2005).

La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras como el henequén. Se trata de una fibra compuesta por celulosa y leño que posee baja conductividad al

calor, resistencia al impacto, a las bacterias y al agua. Su resistencia y durabilidad la hacen un material adecuado para el mercado de la construcción, para usarlo como material de aislamiento térmico y acústico. La industria textil utiliza fibra de coco para elaborar hilos, redes de pesca, así como relleno para colchones y sillones (Novoa, 2005).

La fibra de coco también puede utilizarse en la fabricación de:

- Colchones para saltar, porque tiene una gran elasticidad o como alfombras, porque tienen una gran durabilidad, una mayor retención de la suciedad, y fungicidas naturales, equipos de perforación en especial para los buques, ya que es resistente al agua de mar, cepillos y escobas, así como material de relleno para los cojines,
- Madera prensada utilizada en la construcción de casas, de alfombras de fibra de coco.
- Embalaje ecológico para las flores, las mantas también se utilizan para envolver ramos de flores, ramos y flores en macetas. Ampliamente utilizado en el campo de la jardinería y la decoración y elaboración de embarcaciones (Novoa, 2005) la influencia mecánica de las fibras de coco tratadas químicamente para reforzar una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE).

Para mejorar la compatibilidad matriz-fibra, ellos utilizaron tres diferentes tratamientos químicos y estudiaron el comportamiento mecánico del nuevo material, silano, hidróxido de sodio y dodecano bromuro (C12). El HDPE fue reforzado hasta un 20% en masa de fibra de coco en todos los materiales (Arrakhiz *et al.*, 2012).

El coco es una fruta tropical y de alto valor nutricional. Parece que el coco vuelve a estar en todas partes, y es que de pocas frutas se sacan tantos productos beneficiosos para la salud. Del coco se puede beber el agua que guarda en su interior o se puede comer la pulpa fresca y, se puede obtener aceite, manteca, leche y harina.

## 1.5 Composición química del coco

La composición química del coco se muestra en la tabla 4, los principales componentes son los carbohidratos y es rico en minerales principalmente potasio y sodio.

**Tabla 4.** Contenido nutricional del agua de coco (100 ml)

Componente	Cantidad
Energía	20 kcal
Proteínas	0.1 g
Carbohidratos	5.5. g
Lípidos	0.05 g
Sodio	25 mg
Potasio	160 mg
Cloro	20 mg
Calcio	5 g
Fosforo	0.5 mg
Magnesio	0.45 mg

**Fuente:** Lizano (2003).

Por otra parte, el mesocarpio del coco es el elemento no consumido por el humano, sin embargo, es utilizado en otras áreas de la agricultura por su alto contenido de biomasa lignocelulósica (tabla 5).

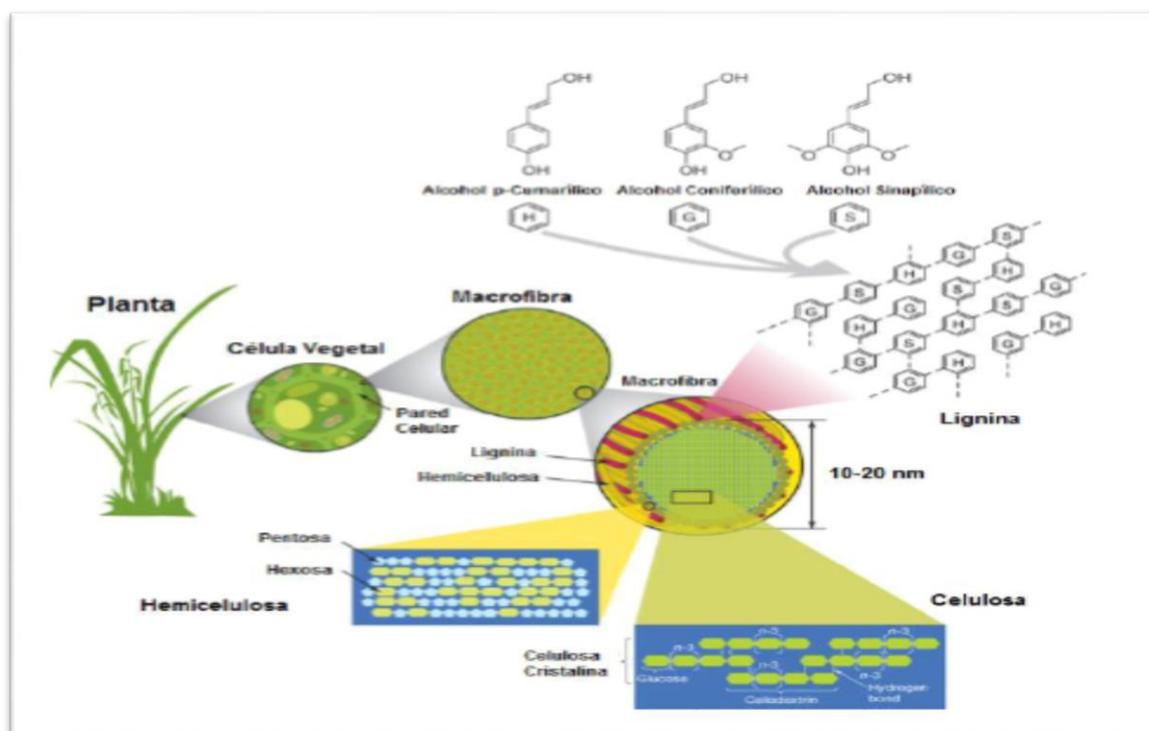
**Tabla 5.** Composición química del mesocarpio de coco

Componente	Contenido (%)
Celulosa	20-50
Hemicelulosa	15-35
Lignina	10-30
Proteínas	3-10
Lípidos	1.5
Azúcares solubles	10.5

**Fuente:** Chundawat *et al.* (2011)

## 1.6. Biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica de origen vegetal está constituida por tejidos de los vegetales cuyas células presenta una pared celular formada a su vez por un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina (figura 6) (Rubin, 2008).



**Figura 6.** Estructura de biomasa lignocelulósica

**Fuente:** Rubin (2008).

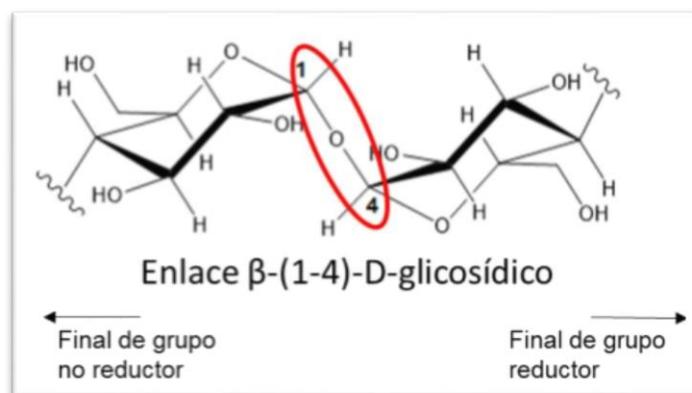
### 1.6.1. Celulosa

La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm, las de Pino 2-

3 mm y las de Eucalipto 0,6-0,8 mm. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere (Hon y Shiraishi, 2001).

La celulosa es el polímero orgánico más abundante en el mundo. Se estima que representa alrededor del  $1.5 \times 10^{12}$  toneladas de la producción total anual de biomasa y se considera una fuente casi inagotable de materia prima para la demanda creciente de productos sostenibles con el medio ambiente (Dieter *et al.* 2005).

Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) con un valor mínimo de  $n=200$ , es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La celulosa se forma por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa a través de enlaces  $\beta$ -1,4-glicosídico, lo que hace que sea insoluble en agua (figura 7). La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez (Hon y Shiraishi, 2001).

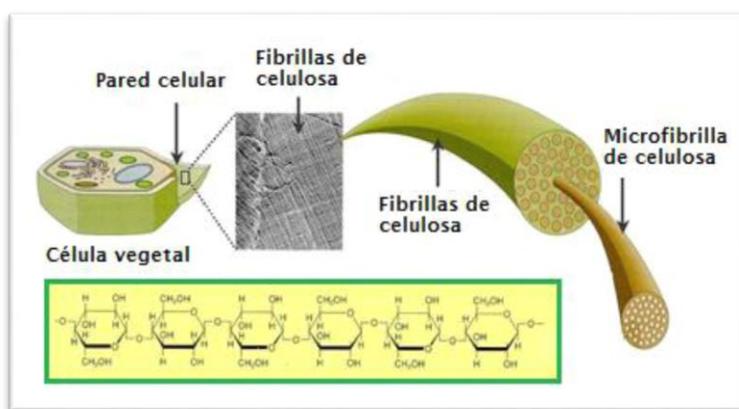


**Figura 7.** Estructura primaria de la celulosa.

**Fuente:** Morales (2015)

El enlace glicosídico se forma por la reacción del grupo  $-OH$  hemiacetálico del carbono anomérico (carbono 1) de la  $\beta$ -D-glucopiranososa con el grupo  $-OH$  del carbono 4 de otra  $\beta$ -D-glucopiranososa. Por esta razón, las unidades de glucosa en los extremos de la cadena celulósica no son químicamente iguales. Uno de los extremos de la cadena de celulosa presenta un carbono anomérico que no está implicado en el enlace glicosídico, en este carbono 1 un grupo aldehído de carácter reductor y en el otro lado al final de la cadena el carbono anomérico está protegido por el enlace glicosídico, no mostrando propiedades reductoras (Pinkert *et al.*, 2010).

Esta estructura se encuentra rodeada por polisacáridos hemicelulósicos que se unen a la celulosa por puentes de hidrógeno y enlaces covalentes, haciéndola aún más resistente a la hidrólisis química y biológica. No toda la estructura de la celulosa es cristalina, existen regiones “desordenadas”, denominadas regiones amorfas, con una composición heterogénea caracterizada por una variedad de enlaces. Este arreglo asimétrico que caracteriza las regiones amorfas es crucial para la biodegradación de la celulosa. Además de estas regiones, como torceduras y espacios, en las cuales se forman microporos y capilares lo suficientemente amplios como para permitir la penetración de moléculas relativamente grandes (figura 8). (Gutiérrez-Rojas *et al.* 2015).



**Figura 8.** Estructura de la pared celular de la célula vegetal.

**Fuente:** Gutiérrez-Rojas *et al.* (2015).

### 1.6.1.1 La celulosa en la industria

Para la industria de alimentos y farmacéutica, por ejemplo, es sometida a modificaciones que generan una serie de compuestos con múltiples propiedades funcionales: la carboxi-metil celulosa que se utiliza como espesante, la celulosa microcristalina es usada como anti-compactante y en la industria farmacéutica para elaborar tabletas (Santos, 2014).

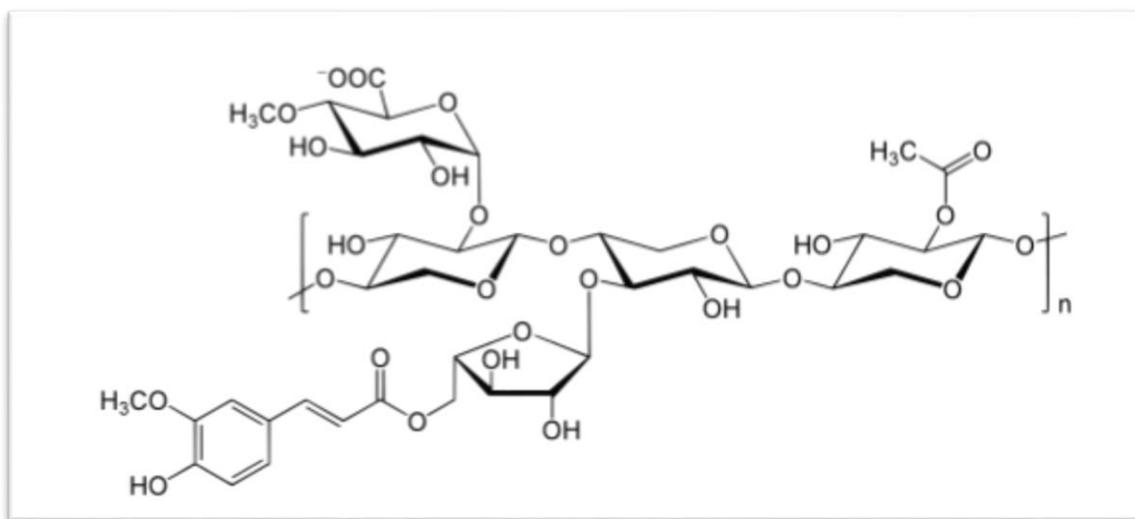
En la industria textil, las celulasas juegan un papel muy importante en el desteñido de telas de jean ya que se usan para remover el color azul índigo y dar una apariencia de desteñido. Tradicionalmente este desteñido se realizaba con piedra pómez. En la actualidad, una pequeña cantidad de enzima puede sustituir varios kilos de piedras. Con la reducción de las piedras se producen menos daño a las telas y menos desgaste de las lavadoras (Santos, 2014).

### 1.6.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa está compuesta por polímeros de diferentes azúcares con cadenas más cortas y ramificadas, lo que la hace más amorfa y fácil de hidrolizar en sus azúcares constituyentes que la celulosa. En estado natural consigue tener un grado de polimerización que no excede a los 200 monómeros (Prinsen, 2010) su cadena principal se compone de pentosas como D-xilosa y L-arabinosa, además de hexosas, en particular, D-glucosa, D-manosa y D-galactosa. A diferencia de la celulosa corresponde a una molécula altamente ramificada, con la presencia de ácidos 4-O-metilglucurónico, D-galacturónico y D-glucurónico, unidos a través de enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 y  $\beta$ -1,3 (figura 9) (Ulloa, 2014).

En la degradación de la hemicelulosa interfieren varias enzimas dependiendo de la naturaleza de la molécula, las compuestas por xylan son degradadas por endo-1,4- $\beta$ -

xylanasas,  $\beta$ -xilosidasas,  $\alpha$ -glucuronidasas,  $\alpha$ -Larabinofuranosidasas y esterasas acetilxilan. En la descomposición de glucomanos median las enzimas  $\beta$ -endomananasas que hidrolizan la estructura central resultando en manobiosas y manotriosas. Y las  $\beta$ -manosidasas que liberan manosa de los extremos no reductores de los compuestos degradados por las endomananasas (Meneses, 2011).



**Figura 9.** Estructura de la hemicelulosa.

**Fuente:** Parada Puig (2019).

### 1.6.3. Lignina

La lignina es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado formado por alcoholes aromáticos que da soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y es altamente resistente a la degradación química y biológica. La lignina es un polímero natural amorfo que actúa como agente aglutinante entre los componentes del vegetal y está constituido por unidades del tipo p-hidroxifenil propano. La lignina se origina por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes para-hidroxicinámicos. Detrás de celulosa y hemicelulosa, es el tercer biopolímero más abundante en la Tierra. Se encuentra principalmente en la lámina media de la pared celular y en las capas de

la pared celular formando junto con la hemicelulosa una matriz alrededor de las microfibras de la celulosa (Prinsen, 2010).

### 1.7 Extracción de biomasa lignocelulósica

Los factores clave para que un tratamiento de biomasa lignocelulósica sea eficaz y de bajo costo y no influyan negativamente en las etapas posteriores especialmente en la hidrólisis y fermentación para la obtención de biocombustibles son (Alvira *et al.*, 2010):

- El tratamiento debe de ser el más adecuado dependiendo de la materia prima escogida y así obtener rendimientos altos. Tipo de cultivo, sitio, edad y tiempos de cosecha,
- El tratamiento de los sólidos debe de mejorar los procesos posteriores en las fases de hidrólisis y fermentación con respecto a los no tratados.
- La degradación de los azúcares no debe ser significativa.

Obtención de una cantidad mínima de compuestos tóxicos que pueden inhibir los procesos posteriores.

- Reducción del tamaño de la biomasa. Hay que tener en cuenta que la molienda o trituración de la materia prima a tamaños pequeños de partículas antes tratamiento son tecnologías costosas y de alto consumo energético.
- Procesos de operación de tamaño razonable y reactores de costes moderados. Minimizando el volumen y utilizando materiales adecuados para ambientes químicos corrosivos.

Uno de los tratamientos que se aplica es el tratamiento químico (la hidrólisis ácido-alcalina).

### 1.7.1. Hidrólisis ácida y alcalina

Es bien sabido que la hidrólisis ácida de biomasa lignocelulósica puede resultar una mejora en la obtención de azúcares fermentables. Ácidos tales como  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$  y HCl se han utilizado para el tratamiento de materiales lignocelulósicos. Las condiciones de concentración y temperatura son variables. De este proceso, se obtiene una fracción líquida, rica en azúcares fermentables y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina. El tratamiento ácido, es eficiente en la disolución de la hemicelulosa, en especial el xilano. Sin embargo, este método, no resulta efectivo para la eliminación de la lignina. Aunque son poderosos agentes para hidrólisis de la celulosa, estos ácidos concentrados son tóxicos, corrosivos y peligrosos, y por lo tanto requieren de procesos resistentes a la corrosión, lo que provoca un encarecimiento de costes (Kumar *et al.*, 2009).

Los reactivos más utilizados para la hidrólisis alcalina son NaOH,  $NH_3$ , CaO y  $Ca(OH)_2$ , y a diferencia de los tratamientos ácidos, no necesitan temperaturas tan altas, aunque si por lo general, necesitan tiempos más prolongados de reacción, además no degradan tanto los azúcares (Kumar *et al.*, 2009). El uso de un álcali provoca la degradación del éster y cadenas laterales alterando la estructura de la lignina.

De esta manera se provoca una pérdida de la cristalinidad de la celulosa y solvatación parcial de la hemicelulosa (Brodeur *et al.*, 2011). Sin embargo, este tratamiento tiene como desventaja, que algunas bases se convierten a sus sales no pudiendo recuperarlas y algunas de estas sales pueden quedar incorporadas en la biomasa en el proceso del tratamiento (Balat, 2011).

## 1.8 Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos

Por lo anterior la extracción de la materia lignocelulósica se ha vuelto de gran importancia que en la actualidad se busca nuevas alternativas energéticas a partir de materiales lignocelulósicos además del aprovechamiento de los desechos agroindustriales de los cuales tiene una cantidad considerable de celulosa para obtener nuevos productos de valor agregado.

En la tabla 6, se muestra algunas de las aplicaciones de industriales de las fibras lignocelulósicas debido a sus propiedades mecánicas, que son utilizadas para reforzar materiales sintéticos de uso industrial.

**Tabla 6.** Productos elaborados a partir de desechos agroindustriales

<b>Desarrollo de producto</b>	<b>Referencia</b>
Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio	Trejos (2014)
Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco, para utilización en matrices fibro-reforzadas	Toj (2008)
Materiales biodegradables para envases alimentarios	Alfaro (2009)

El empleo de estas fibras ha sido empleado para el mejoramiento de materiales de tipo plástico gracias a las propiedades que presentan fibras como ya se mencionó ayudan a reforzar otros materiales, por lo que puede ser la base para la elaboración de envases biodegradables.

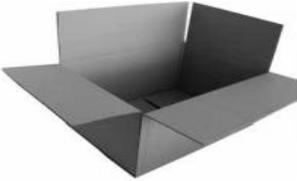
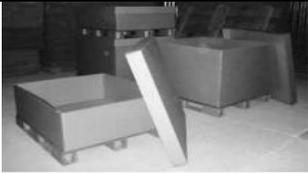
### 1.8.1 Envases

El termino envase está muy vinculado al de contenedor, cualquiera que sea su material (madera, metal, vidrio, cartón, papel, plástico) o lo que contenga alimentos, ropa, diversos objetos (Alfaro, 2009).

### 1.8.1.1 Tipos de envases

Por su relación con el producto a envasar se pueden llegar a clasificar de acuerdo con lo presentado a la Tabla 7.

**Tabla 7.** Clasificación de envases

Tipo de envase	Uso
	<p>Envase primario: Es el que está en contacto directo con el producto, casi siempre permanece en él hasta su consumo.</p>
	<p>Envase secundario: Es el que contiene el o los envases primarios, más todos los accesorios de embalaje.</p>
	<p>Envase terciario (de transporte): Es el utilizado para agrupar, manipular, almacenar y trasladar los productos. Contiene tanto envases primarios como secundarios.</p>
	<p>Envases retornables: Son creados para ser devueltos al envasador, para que sean reacondicionados, limpiados adecuadamente y vueltos a llenar con el mismo producto.</p>
	<p>Envases no retornables o descartables: Están pensados para un solo uso, y ser desechados luego de su utilización.</p>
	<p>Envases reciclables: Son diseñados para ser reprocesados luego de su uso, obteniendo un producto similar o diferente al original. Hay una reutilización de los materiales que componen al envase. Es importante señalar que prácticamente todos los envases cumplen con esta función, lo que es un aspecto importante en el cuidado del medio ambiente.</p>

**Fuente:** INTI (2012).

La mayoría de los envases son elaborados de plástico que es uno de los principales problemas de la contaminación que va en aumento el consumo de los plásticos en la sociedad moderna, que se estima que crece un 4 % anualmente, se ha producido en paralelo con el desarrollo tecnológico de estos materiales, cuyo uso se ha extendido además en el campo ya convencional de los envases, en la fabricación de componentes en las industrias de automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo. Así el consumo mundial de materiales plásticos ha pasado de los 10 Millones de toneladas en el año 1978 hasta los 60 Millones de toneladas en el año 2000 de los cuales el 50 % corresponde a USA y el resto se reparte por igual entre Europa y Japón. El consumo de plásticos en España en el 2000 fue de 2,0 M de t (Arandes *et al.*, 2004).

En México se estima que por persona se utilizan 49 kg de plástico anualmente (Segura *et al.*, 2007). Se estima que se recupera o recicla menos del 15 % de los materiales plásticos residuales. Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60 %) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli (metacrilato de metilo) (PMMA), etc. (Arandes *et al.*, 2004). La degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta. Como ejemplo, la descomposición de productos orgánicos tarda 3 ó 4 semanas, la de telas de algodón 5 meses, mientras que la del plástico puede tardar 500 años. Además, en buena medida la “degradación” de estos plásticos simplemente genera partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de ya no ser evidentes, se acumulan en los ecosistemas (Segura *et al.*, 2007). Por tal motivo se busca reducir la utilización de estos materiales a partir de envases biodegradables con el objetivo de disminuir la producción de CO<sub>2</sub> que incide principalmente en el calentamiento global, así mismo el objetivo es disminuir la producción de desechos, la contaminación en suelos y agua y por lo tanto de la fauna. Los materiales biodegradables han sido estudiados por más de 30 años, pero es hasta nuestros días que han tenido un mayor auge debido a la preocupación por

el cambio climático. Hoy en día, los materiales biodegradables se utilizan ampliamente en la industria y se pueden mostrar resistentes a ácidos a temperaturas mayores de 200 °C ideales para hornear, programables para degradarse en 6 semanas o 6 meses, con silicatos para dar una textura vidriosa, con nanopartículas, hechos de residuos industriales, de agua de desecho, de suero lácteo, de tubérculos, de bacterias, de proteínas, con atmósferas modificadas, hidrobiodegradables, oxobiodegradables (Alfaro, 2009).

Los envases biodegradables pueden ser elaborados de polisacáridos naturales relacionados con el almidón como se presenta en la Tabla 8 que representa un potencial para la elaboración de estos productos debido a su naturaleza química y biológica.

**Tabla 8.** Productos elaborados de polisacáridos

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
<b>Fécula de maíz</b>	El pericarpio se caracteriza por su alto contenido en fibra (86%), la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa, celulosa y lignina. Se han producido: vasos, bolsas y cucharas.
<b>Caña de azúcar</b>	El bagazo es un sólido fibroso. La cantidad de fibra que corresponde a la celulosa presente en el bagazo, que oscila aproximadamente entre el 10- 16%. Se han producido: Platos.
<b>PLA</b>	Es un polímero formado por una molécula de lactida procedente de la fermentación de carbohidratos, tales como: almidón de maíz. Es procesado en un termoplástico rígido que puede ser cristalino o totalmente amorfo. Se han producido: tarrinas productos vegetales y vasos.
<b>Papa</b>	El almidón es un polisacárido de glucosa compuesto por amilosa (20%-30%) y amilopectina (70%-80%), el almidón de papa comercial es un polvo blanco y tiene una relación promedio que varía entre 1:4 y 1:5 de amilosa y de amilopectina. Se han producido: vasos.

**Fuente:** Burge y Duensing (1989); Elizoldo (1988); Mohanty *et al.* (2005); Dalal *et al.* (2020).

También se encontrarán diversos ejemplos de materiales entre los que se encuentra la celulosa, lignina, pectina, pululan y quitina; polisacáridos que en algunos casos son considerados contaminantes por su acumulación en el ambiente, ya que no se les ha dado un uso práctico (Murray *et. al.* 1978).

## 2. OBJETIVOS

**Objetivo general.** Extraer fibras lignocelulósicas a partir de residuos de mesocarpio del coco, mediante una hidrólisis ácido-alcalina, para el desarrollo de un envase biodegradable, que sea resistente y de utilidad en la industria de alimentos.

**Objetivo particular 1.** Extraer las fibras lignocelulósicas del mesocarpio del coco, mediante una hidrólisis ácido-alcalina (0.2 y 0.4 % de  $H_2SO_4$ , y 5 y 10 % de NaOH), determinando el rendimiento (porcentaje de biomasa) propiedades funcionales (capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite) para la selección del mejor tratamiento.

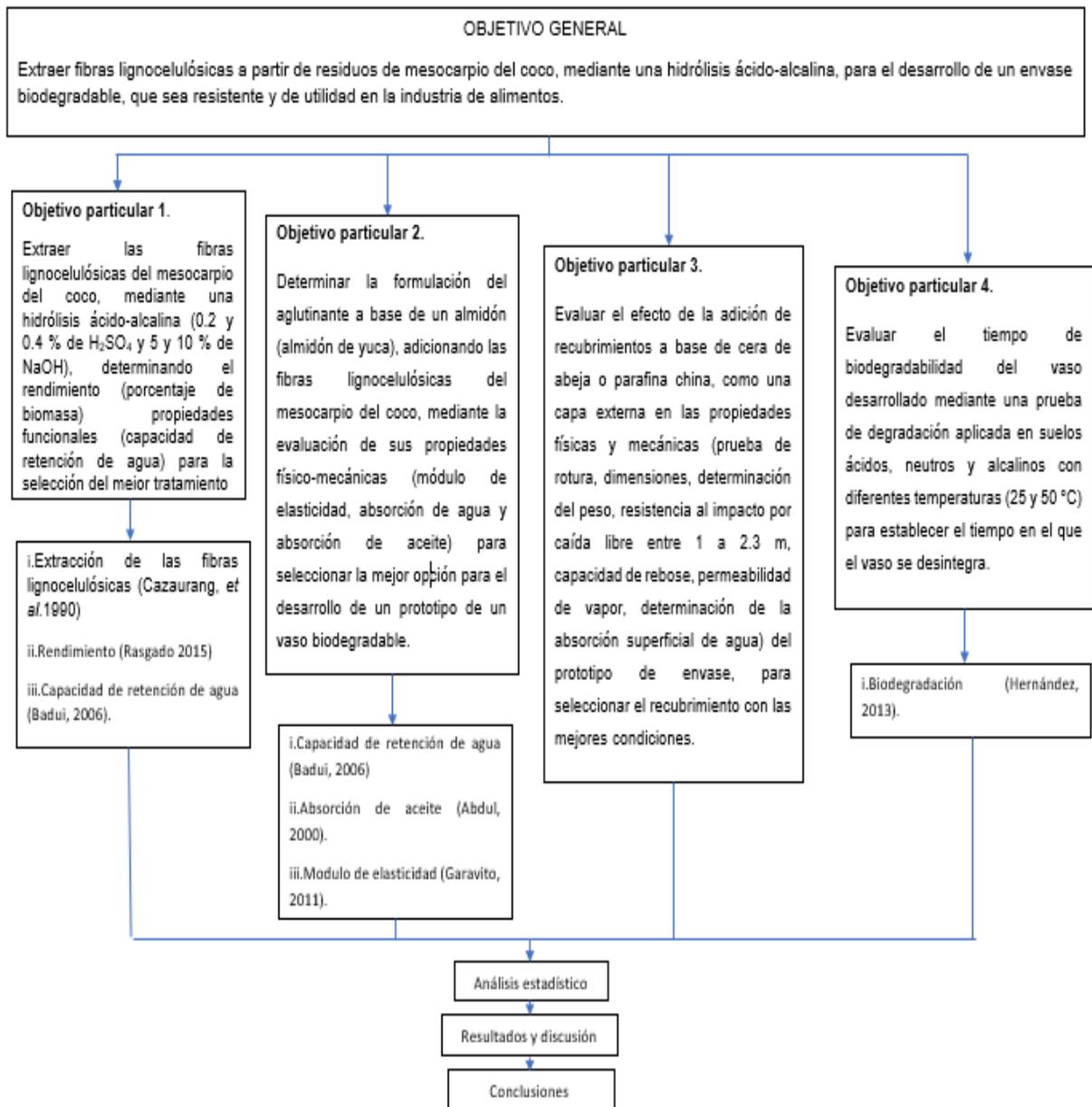
**Objetivo particular 2.** Determinar la formulación del aglutinante a base de un almidón (almidón de yuca), adicionando las fibras lignocelulósicas del mesocarpio del coco, mediante la evaluación de sus propiedades físico-mecánicas (mecánica: módulo de elasticidad; Físicas: absorción de agua y absorción de aceite) para seleccionar la mejor opción para el desarrollo de un prototipo de un vaso biodegradable.

**Objetivo particular 3.** Evaluar el efecto de la adición de recubrimientos a base de cera de abeja o parafina china, como una capa externa en las propiedades físicas y mecánicas (Mecánicas: prueba de rotura, resistencia al impacto por caída libre entre 1 a 2.3 m dimensiones; Físicas: determinación del peso, capacidad de rebose, permeabilidad de vapor, determinación de la absorción superficial de agua) del prototipo de envase, para seleccionar el recubrimiento con las mejores condiciones.

**Objetivo particular 4.** Evaluar el tiempo de biodegradabilidad del vaso desarrollado mediante una prueba de degradación aplicada en suelos ácidos, neutros y alcalinos con diferentes temperaturas (25 y 50 °C) para establecer el tiempo en el que el vaso se desintegra.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Cuadro metodológico



### 3.2 Material biológico

Los cocos (*Cocos nucifera* L.) se obtuvieron de la Central de Abastos, Iztapalapa, Ciudad de México, y se llevaron al laboratorio de post cosecha de productos vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

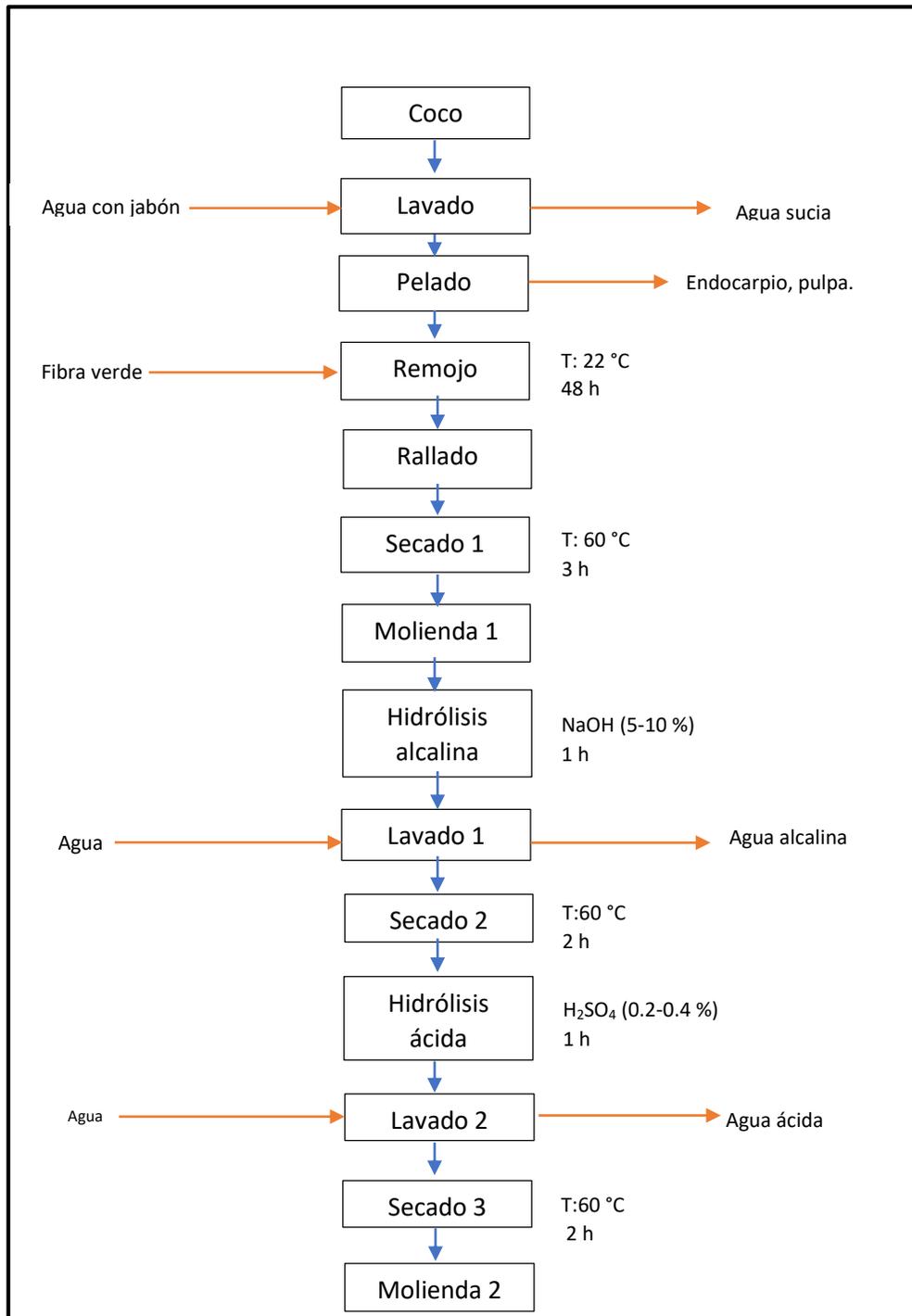
### 3.3 Tratamiento de la muestra

Las fibras lignocelulósicas fueron obtenidas a partir de frutos de coco; las cuales se lavaron para retirar el exceso de tierra. El mesocarpio fue retirado manualmente, para posteriormente reducir a trozos pequeños para la fácil manipulación, se sumergieron en agua durante 48 horas protegidas de la luz solar y a temperatura ambiente. Este proceso es conocido en la literatura como *retting*, que consiste en ablandar y descomponer parcialmente la pulpa en la cáscara, permitiendo que la fibra sea extraída con facilidad (Trejos, 2014). Cuando pasaron las 48 horas de remojo se extrajeron las fibras con la ayuda de un rayador metálico, para posteriormente secar las fibras en una estufa de convección a una temperatura de entre 50 a 60 °C durante 12 horas, ya teniendo la fibra seca se procedió a una molienda en un molino de cuchillas tipo (marca WILLYE). La fibra seca se almacenó en un lugar limpio y seco, para su posterior uso.

### 3.4 Extracción de la biomasa lignocelulósica

Para la extracción de la biomasa lignocelulósica la fibra ya molida se sometió a una primera hidrólisis con una solución acuosa de NaOH al 5 % durante una hora a temperatura ambiente, y posteriormente se procedió a un lavado para neutralizar la fibra llevándola hasta un pH de 7 y se secó a 60 °C durante 2 horas. Una vez seca la fibra se procedió a realizar una segunda hidrólisis con una solución acuosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.4 % durante 1 hora a temperatura ambiente, pasando el tiempo de hidrólisis se volvió a lavar para llevar a pH neutro y nuevamente a un secado por estufa a una temperatura de 50 °C durante 9 horas. Una vez finalizado el secado la

fibra fue molida en un molino (Marca Luzeren; Modelo JK-G-500B2) para reducir el tamaño de partícula menor a 100  $\mu\text{m}$ . En la Figura 10 se presenta el diagrama de proceso correspondiente al proceso.



**Figura 10.** Diagrama de proceso de la extracción de la fibra del coco.

**Fuente:** Modificado a partir de Cazaurang *et al.* (1990).

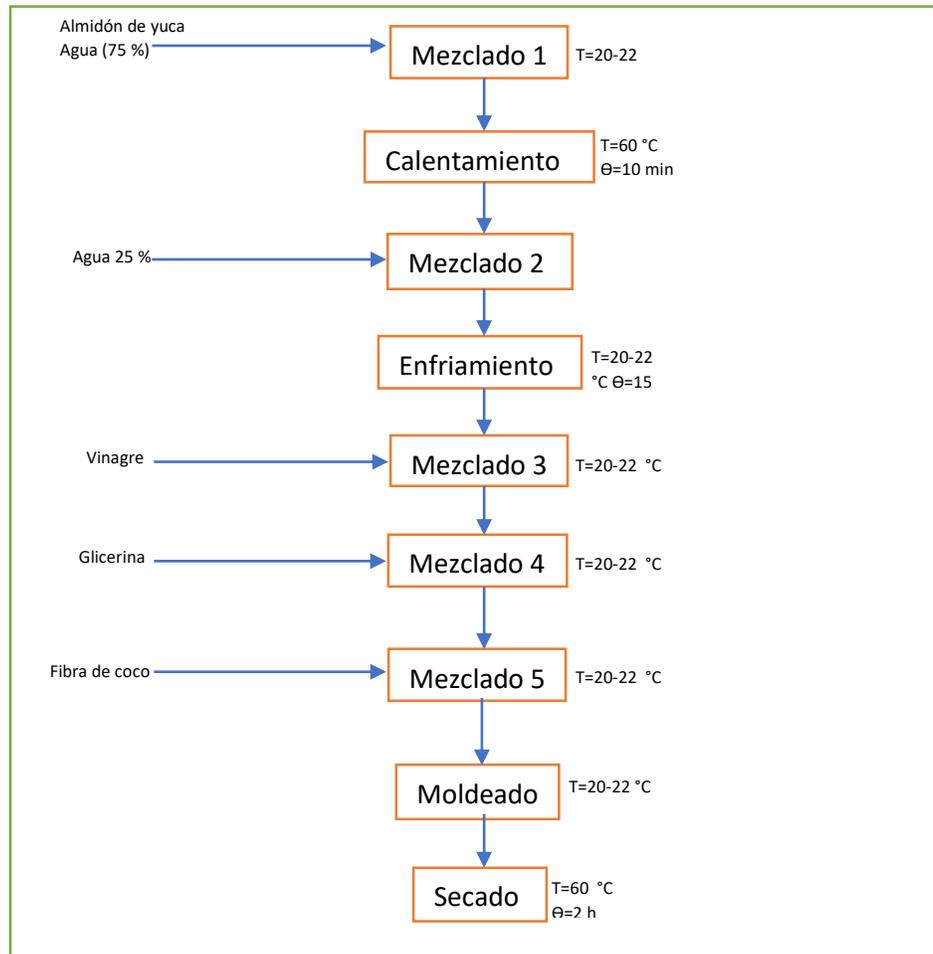
### 3.5 Establecimiento de formulación de aglutinante para el desarrollo del prototipo de envase

Para la elaboración del aglutinante se utilizaron las formulaciones que se muestran en la tabla 9. El almidón se mezcló con el 75 % del total de agua a temperatura ambiente, una vez homogénea la mezcla, se sometió a un calentamiento a 60 °C durante 10 min con agitación constante, pasado el tiempo de calentamiento se adicionó el agua restante (25 %). Posteriormente la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente en un lapso de 15 min, pasado el tiempo de enfriamiento se agregó el vinagre con agitación hasta que se incorporó y quedó una mezcla homogénea; enseguida se agregó la glicerina con agitación constante, y por último se adicionó la fibra de coco molida, agitando hasta tener una pasta café y homogénea. El moldeado y secado se realizó por estufa a una temperatura de 60 °C durante 2 horas.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de proceso correspondiente de la elaboración del elemento aglutinante.

**Tabla 9.** Formulación del aglutinante

Componente	Formulación	
	Formulación 1 (%)	Formulación 2 (%)
Almidón	15	15
Vinagre	15	15
Glicerina	15	12
Agua	55	58



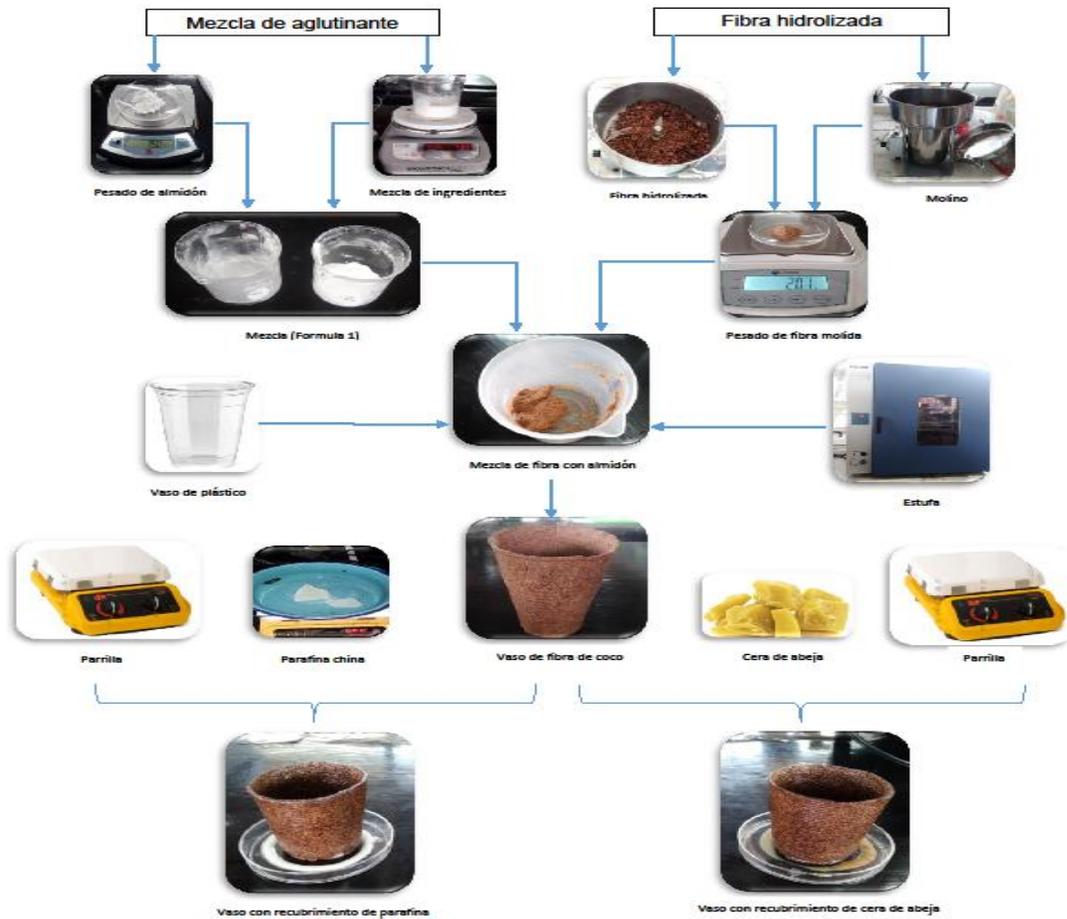
**Figura 11.** Diagrama de proceso de elaboración del aglutinante.

**Fuente:** Modificado a partir de Chanchí *et al.* (2008).

### 3.6 Desarrollo del prototipo de envase

Para la elaboración de los envases (figura 12) se seleccionó el aglutinante con las mejores propiedades físico-mecánicas. La fibra de coco ya hidrolizada se sometió a una molienda para reducir su tamaño de partícula con malla 30; posteriormente se mezcló con el aglutinante en una proporción 80 % de aglutinante y 20 % de fibra, la masa obtenida se moldeó en el interior de un vaso de plástico de aproximadamente 75 ml, 6.5 cm 20pz de manera manual, se sometió el molde a una temperatura de 50 °C durante 2 horas en una estufa de convección, la parafina y la cera de abeja se sometieron por separado en recipientes hondos a 60 °C hasta que se transformaron a estado líquido, una vez que transcurrieron las 2 horas en

la estufa, se eliminó el vaso de plástico que sirvió de molde para, por último, el molde de fibra se sumergió durante 1 min en los recubrimientos de manera independiente y se dejó secar a temperatura ambiente.



**Figura 12.** Diagrama de proceso de elaboración del prototipo de envase.

Para evaluar el tiempo de biodegradabilidad del vaso desarrollado se aplicó una prueba de degradación en suelos ácidos, neutros y alcalinos con diferentes temperaturas (25 y 50 °C) para establecer el tiempo en el que el vaso se desintegra de acuerdo con la técnica descrita por Hernández, (2013).

### 3.7 Preparación de la tierra para la biodegradación del vaso

Para empezar la biodegradación del vaso, la tierra se obtuvo del domicilio Ailes 17 la Lupita Casas Viejas Huitzilapan Lerma Edo. México, este suelo fue de tipo froncoso con un pH=6. La tierra se homogenizó y se le retiraron hojas, piedras, palos, gusanos y se puso a secar. Posteriormente se distribuyó en lotes para contar con diferentes condiciones de cada tipo de suelo (ácido, neutro y alcalino). Para alcanzar un suelo ácido se añadió sulfato de aluminio poco en poco hasta alcanzar el pH de 4 y en el caso del suelo alcalino se le añadió carbonato de calcio hasta alcanzar el pH de 9, se midió el pH durante 1 mes realizando la determinación 1 vez a la semana operación realizada 4 veces. Durante cada semana midió el pH de los suelos para garantizar el pH deseado de acuerdo con la técnica descrita en el apartado de técnicas analíticas.

### **3.8 Preparación de materiales del envase y distribución en diferentes condiciones de suelo y temperatura**

El procedimiento de la evaluación de biodegradabilidad se realizó de acuerdo a el trabajo de Hernández (2013) referente a la biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables las láminas del material del prototipo de envase se prepararon con un tamaño de 3 x 3 cm y se les puso el recubrimiento ya seleccionado, teniendo los tipos de suelos se distribuyeron en pequeñas macetas y en cada una de ellas se le colocaron 3 láminas del prototipo de envase enterradas a 3 cm de la superficie. Posteriormente se colocaron seis macetas con pH=9 y seis con pH=4 en una estufa a 25 y 50 °C, mientras que las muestras con a pH=6 se metieron a una temperatura de 37 °C manteniéndose todas ellas en una humedad relativa de +/- 37.5 % como se muestra en la tabla 10.

El seguimiento de la biodegradación fue mediante exhumaciones cada 15 días, evaluando el peso medido en una balanza analítica (marca Ohaus-Pioneer) y el área degradada con ayuda de un microscopio

**Tabla 10.** Condiciones de biodegradación

Tipo de suelo	Temperatura (°C)	pH	Humedad (%)
Ácido	50 y 25	4	37.5
Neutro	37	6	37.5
Alcalino	50 y 25	9	37.5

**Tabla 11.** Procedimiento para las pruebas de biodegradación de prototipos.

Paso	Actividad	Imagen
1	Obtención de tierra.	
2	Homogenizado retiro de basura y secado.	
3	Proporción de volumen para cada tipo de suelo.	
4	Seguimiento de pH de suelo ácido y alcalino.	
5	Laminas del prototipo de envase de 3x3 cm sumergido en parafina.	
6	Volumen asignado por maceta.	
7	Se colocaron 3 láminas del prototipo a 3 cm de la superficie	
8 </td <td>Se colocaron las macetas de pH 4 y 9 en estufas con temperaturas y humedad controladas.</td> <td></td>	Se colocaron las macetas de pH 4 y 9 en estufas con temperaturas y humedad controladas.	
9	Exhumaciones realizadas cada 15 días.	

### 3.9 Técnicas analíticas

#### 3.9.1 Propiedades tecnofuncionales y mecánicas

### 3.9.1.1 Capacidad de retención de agua

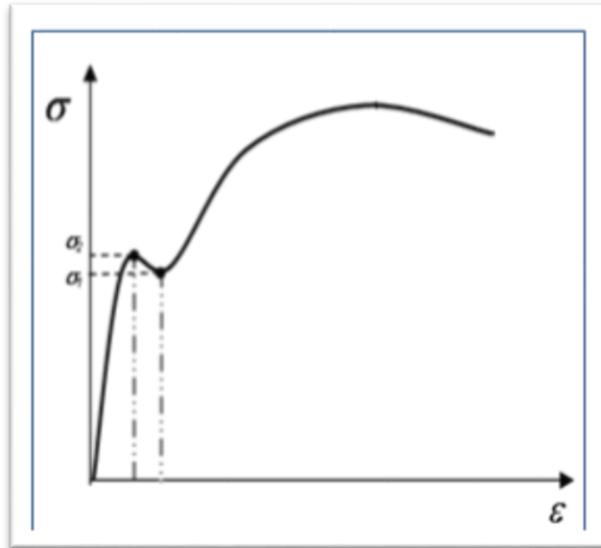
La expresión “capacidad de retención de agua” generalmente se emplea para hacer referencia a la cantidad de agua que una proteína a un hidrato de carbono (macromoléculas en general) puede retener sin que haya liberación de líquido. Dicha capacidad depende de factores intrínsecos (tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc.) y los factores extrínsecos (pH, fuerza iónica, temperatura, presencia de ciertos cationes, etc.). La retención de agua puede causar la formación de un gel; tal es el caso de los producidos por las carrageninas y las pectinas. Las macromoléculas actúan entre sí y forman una red tridimensional en la que queda atrapada el agua debido a una fuerte hidratación de polímero (Badui, 2006). La capacidad de retención de agua se reportó en g de agua/g de muestra seca.

### 3.9.1.2 Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite indica el grado en que una fibra se puede incorporar a un sistema alimenticio para no deteriorar la viscosidad ni la apariencia del producto final (Sánchez, 2005). Incrementa cuando hay presencia de fibra dietética insoluble presente en la muestra, otros factores que pueden influir sobre la capacidad de retención de aceite son el tamaño, forma y área superficial de las partículas de fibra, así como su composición química (López *et al.*, 1997). La capacidad de retención de aceite se reportó en g de aceite/g de muestra seca.

### 3.9.1.3. Módulo de elasticidad

Esta prueba consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión, ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad (Figura 13) (Garavito, 2011). El módulo de elasticidad también llamado el módulo de Young, es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente (en la zona de compartimiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados ( $d\sigma$ ) en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria ( $d\epsilon$ ) producidos (Castellanos *et. al.* 2014). La porción inicial lineal de la gráfica esfuerzo deformación.



**Figura 13.** Esfuerzo de cadencia superior e inferior.

**Fuente:** Garavito (2011).

Esta se calcula según la ley de Hooke, mediante las ecuaciones.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{N}{cm^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación (1)}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots \dots \dots \text{Ecuación (2)}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots \text{Ecuación (3)}$$

E= Módulo de elasticidad [ $\frac{Newton}{cm^2}$ ]

$\sigma$ = Esfuerzo [ $\frac{Newton}{cm^2}$ ]

$\varepsilon$ = Deformación

P= Carga aplicada [Newton]

$A_0$ = Área transversal [ $cm^2$ ]

l= Longitud correspondiente a una carga determinada [ $cm^2$ ]

$l_0$ = Longitud inicial sin carga [ $cm^2$ ]

$\Delta l$ = Diferencia de longitudes [ $cm^2$ ].

Para la determinación de las pruebas del módulo de elasticidad se elaboraron 4 probetas de cada una de las formulaciones del aglutinante de acuerdo con la norma internacional para ensayos de tensión, flexión e impacto para matrices poliméricas se rigen según ASTM D3039-08, ASTM D790-10 y ASTM D256-10. Con la ayuda de un texturómetro habilitado (Figura 14) obteniendo la fuerza ejercida expresada en Npa calculada con mediante las ecuaciones 1, 2 y 3. Los resultados se expresaron en esfuerzo  $\sigma$  /deformación  $\varepsilon$ .



**Figura 14.** Determinación del módulo de elasticidad.

#### **3.9.1.4 Absorción de agua**

Esta prueba tiene dos principales funciones: la primera es una guía para conocer la proporción de agua absorbida por un material plástico, en base a los cambios que sufren las dimensiones y apariencia, así como conocer cómo afecta la proporción de agua absorbida en las propiedades mecánicas. La segunda es particularmente aplicable a láminas, barras y tubos, cuando la prueba se lleva a cabo sobre producto terminado. Se toma una muestra de 25 mm por 25 mm y se determina su peso inicial. A continuación, la probeta se sumerge dentro de un recipiente que contiene el líquido para analizar, en este caso agua, y permanece allí por 24 horas. Al retirar el líquido se pesa y se mide nuevamente. La muestra se lleva a un horno a 50 °C por 2 horas, transcurridas se mide nuevamente su peso. Determinada así con la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento en masa (\%)} = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa acondicionada 24 horas}}{\text{masa acondicionada 24 horas}} \times 100 \text{..Ecuación 4}$$

Los resultados se expresaron en porcentaje.

### 3.9.1.5 Absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite es una propiedad cuya función indica la máxima cantidad que puede ser retenida por gramos de muestra en presencia de un exceso de aceite, después de ser sometida a una fuerza externa que es la centrifugación. El aceite absorbido en las muestras se determinó por diferencia de peso. Para esta determinación se pesó 0.5333 g de cada fibra seca en tubos, adicionándole 8 ml de agua, se agitó en un agitador vortex (marca Dlab MX-S) por un tiempo de 30 min (30 segundos por cada 5 min), posteriormente a esto se centrifugó en una centrifuga (marca TG 20) a 2,000 rpm durante 25 min, después se eliminó el sobrenadante y se pesó la muestra con aceite absorbido (Figura 15). La capacidad de absorción de aceite se expresó como gramos de aceite absorbidos por gramos de muestra seca (Abdul y Luan, 2000).



**Figura 15.** Determinación de capacidad de retención de agua/aceite (A) Agitador vortex DLab MX-S (B) Centrifuga Daigger 4350, (C) Balanza Ohaus Pioneer.

## 3.9.2 Determinación de biodegradabilidad

### 3.9.2.1 Medición de pH de suelos

Para la degradación en suelo se tomó como muestra tierra de San Martín Huitiztlapan, Lerma Estado de México, con un pH neutro, para poder llevarla a un pH ácido se mezcló la tierra sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) haciendo filtrar agua en

la tierra con un pH alcalino, posteriormente midiendo el pH del agua filtrada con ayuda de pastillas reactivas y potenciómetro hasta alcanzar un pH de 4. Para llevar la tierra a un pH alcalino se mezcló con carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ ) haciendo filtrar agua en la tierra con pH alcalino, posteriormente midiendo el agua filtrada con ayuda de pastillas reactivas y potenciómetro hasta alcanzar un pH de 9 (Figura 16).



**Figura 16.** Determinación de pH (A) Filtración de agua neutra (B) Pastillas reactivas, (B') Potenciómetro.

### 3.9.2.2 Biodegradación

Para las pruebas de biodegradación en suelo las muestras para los 3 tipos de suelos (alcalino y ácido) se hicieron exhumaciones cada 15 días por 3 meses a diferentes condiciones de temperatura (25 y 50 °C) y humedad relativa aproximada de 40 %, midiendo el porcentaje de degradación de cada una de las muestras. El diseño aplicado fue un  $2^2$  con tres réplicas en el punto central que fue pH de 6 con temperatura de 37.5 °C.

## 5.0 Análisis estadísticos

Del análisis estadístico aplicado fue un ANOVA a comparación de medias con la prueba de rango múltiple (Duncan y Tukey) con un valor de significancia de  $\alpha = 0.05\%$ .

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Extracción de las fibras lignocelulósicas del mesocarpio del coco

#### 5.1.1 Rendimiento

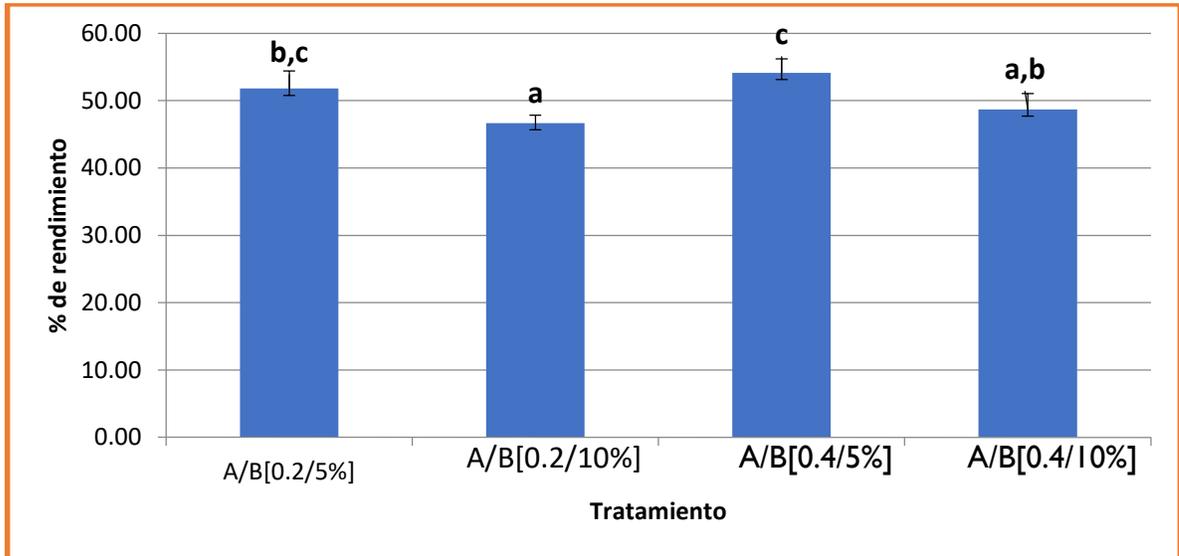
Considerando el estudio de varios trabajos en los que destacan el aprovechamiento de las propiedades estructurales de las fibras presentes en las fibras vegetales y la diversidad disponibles como subproductos en la agroindustria del país, las cuales representan una fuente importante de extracción de fibras mediante métodos que permiten tener un proceso con condiciones favorables.

Las fibras fueron obtenidas a partir de los residuos integrados del coco (mesocarpio) que fueron extraídas mediante un tratamiento químico ácido/alcalino semicontinuo.

Al término de cada tratamiento se obtuvieron rendimientos (figura 17) con diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) para la fibra resultante, ya que conforme avanzó el tratamiento químico hubo disminución en el rendimiento. Obteniéndose el mayor rendimiento para el tratamiento (0.4 % de ácido, 5 % de alcalino) teniendo 54.11% con un tratamiento térmico a 60-6 °C durante 2 horas; mientras que en las segundas condiciones de hidrólisis (0.2 % de ácido, 10 % de alcalino) evaluadas se obtuvo el menor rendimiento de 46.67 % con tratamiento térmico de (60-65 °C) durante 2 horas en el horno, la variación de las concentraciones de los reactivos, temperatura así como el pH; lo cual provocó una la degradación de la estructura lignocelulósica, con una mayor pérdida de la biomasa lignocelulósica, quedando después de la hidrólisis en su mayoría solo celulosa.

La finalidad del tratamiento químico (hidrólisis) es el desdoblamiento de la molécula de ciertos compuestos orgánicos por la acción del agua. El tratamiento alcalino es capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina, provocando una pérdida de la cristalinidad de la celulosa y solvatación parcial de la hemicelulosa. Por otra parte, en la hidrólisis ácida se obtiene una fracción líquida rica en azúcares fermentables

y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina (Morales, 2015).



**Figura 17.** Rendimiento de fibra obtenidas para cada una de las condiciones de hidrólisis a partir del mesocarpio de coco (*Cocos nucifera L.*): A/B [0.2 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/5% NaOH], A/B [0.2 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/10% NaOH], A/B [0.4 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/5% NaOH] y A/B [0.4 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/10% NaOH]. Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar del tratamiento químico, y las letras en cada una de las barras indica la diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre las diferentes condiciones de tratamiento.

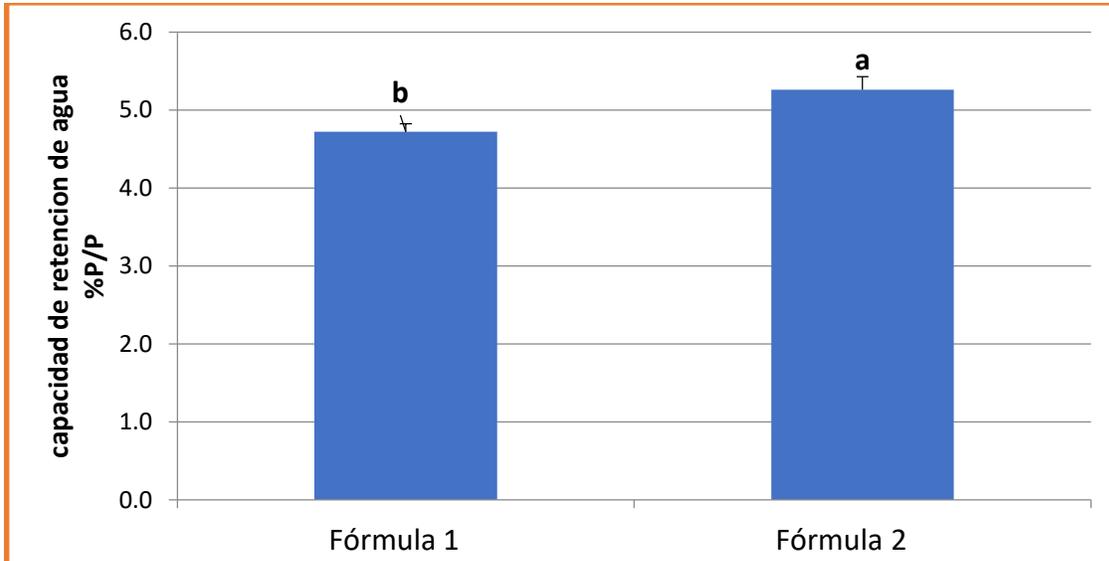
## 5.2 Propiedades Tecno-funcionales

### 5.2.1 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua generalmente hace referencia a la cantidad de agua contenida en una macromolécula en general puede retener sin que haya liberación del líquido, esto depende de factores extrínsecos (tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc.) e intrínsecos (pH, fuerza iónica, temperatura, presencia de cationes, etc.) (Badui, 2006).

Para la capacidad de retención de agua (figura 18) se presenta los resultados de acuerdo al tratamiento al que se sometió en donde la fibra que presentó menor retención de agua fue la del tratamiento (0.4 % de ácido, 5 % de alcalino) teniendo una capacidad de 393.79 [g agua/g muestra seca] en comparación al tratamiento

(0.2 % de ácido, 5 % de alcalino) que tiene 491.32 [g agua/g muestra seca], en cuanto al análisis estadístico no existe diferencia significativa entre los tratamientos de la fibra.



**Figura 18.** Capacidad de retención de agua para las formulaciones 1 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 15%, agua 55%] y 2 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 12%, agua 58%] de fibra con aglutinante.

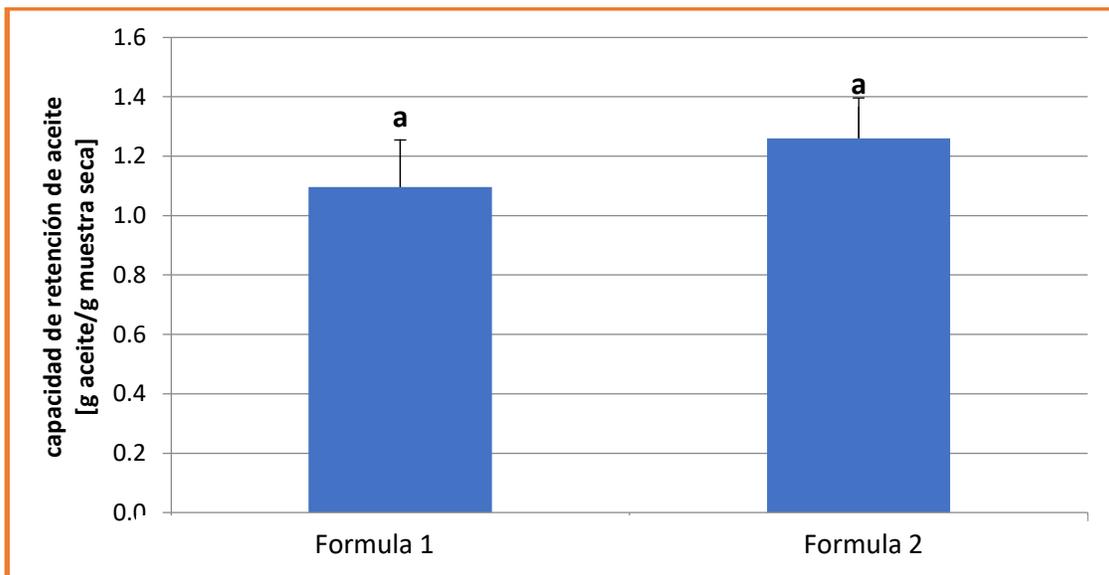
De acuerdo con el análisis estadístico realizado nos indica que si existe diferencia significativa entre ambas formulaciones de ( $p \leq 0.05$ ).

La retención de agua en la muestra se ve afectada por el tratamiento químico debido a que este fue de menor porcentaje en solución alcalina, lo cual tuvo menos degradación de lignina, parte de la biomasa lignocelulósica que tiene un comportamiento hidrofóbico, además que tiene menor cantidad de estructura ramificada la celulosa que es la que tiene tendencia a ser hidrofílica.

### 5.2.2 Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite determina el grado en que una fibra se puede incorporar a un sistema alimenticio para no deteriorar la viscosidad ni la apariencia del producto final (Sánchez, 2005). La capacidad de retención de aceite evaluado en las fibras obtenidas en cada tratamiento cuyos resultados se muestran en la figura 19. Se obtuvo que para las formulaciones de los aglutinantes, el análisis

estadístico indica que no existe diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre ellas debido a que ninguna de las dos formulaciones retienen aceite, pero en la gráfica se puede observar que la formulación 2 presentó mayor retención de aceite, esto se atribuye a que esta propiedad se incrementa cuando hay mayor presencia de fibra dietética insoluble presente en la muestra, otros factores que pueden influir sobre la capacidad de retención de aceite son el tamaño, la forma y área superficial de las partículas de fibra, así como su composición química (López *et. al.*, 1997).



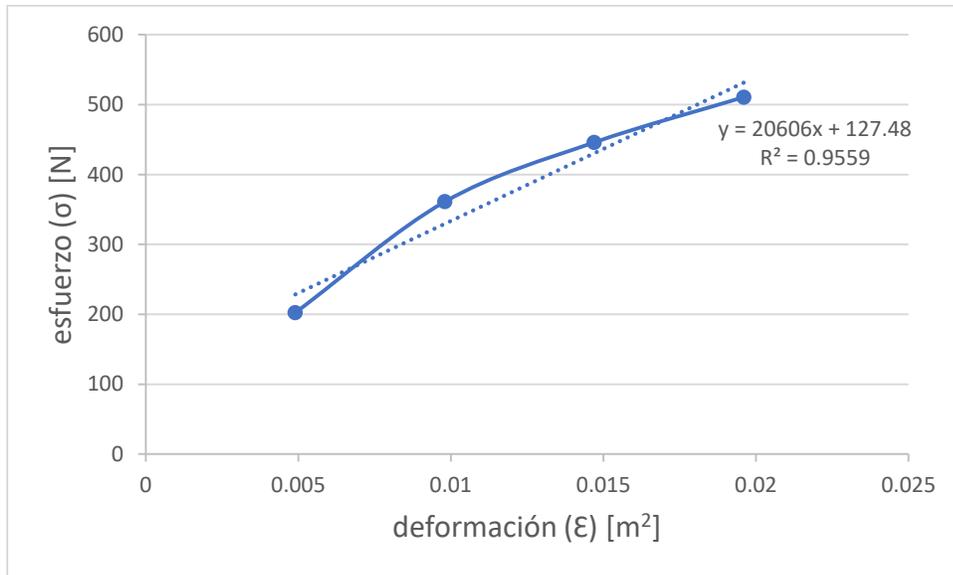
**Figura 19.** Capacidad de retención de aceite para las formulaciones 1 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 15%, agua 55%] y 2 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 12%, agua 58%], de fibra con aglutinante. De acuerdo con el análisis estadístico realizado nos indica que no hay diferencia significativa entre ambas fórmulas.

### 5.3 Propiedades mecánicas

Las fibras presentan diferentes composiciones y propiedades físicas que presentan una elevada influencia en la compatibilidad con los matrices polímeros y por tanto en las propiedades finales del compuesto (Salvador *et al.*, 2008).

Las propiedades mecánicas de las fibras resultan bastante diversas y dependen mucho de las condiciones en las que se encuentra la fibra, principalmente en cuanto a su grado de humedad. Así también, las propiedades mecánicas de los materiales;

son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otro; el comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación de su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada (figura 20). Entre estas características mecánicas, se destacan, la resistencia al impacto, resistencia a esfuerzos de tracción, compresión y torsión, entre otros (Espitia, 2010).



**Figura 20.** Módulo de elasticidad de formulación 1. Donde la pendiente es de 0.000021 GPa que muestra la deformación que sufrió la probeta de la formulación al aplicarle un esfuerzo.

La porción inicial lineal de la gráfica esfuerzo deformación, representa lo que se llama el Módulo de Elasticidad  $E = N/m^2$ , de los materiales. Este se calcula según la ley de Hooke, mediante la fórmula

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots \text{Ecuación (5)}$$

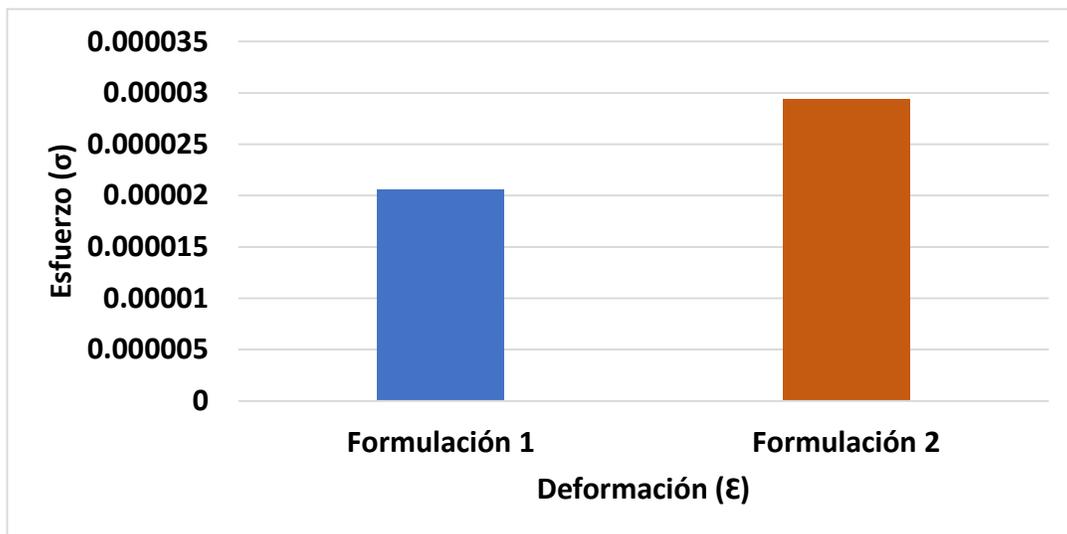
Donde:

σ: Es el esfuerzo (N)

ε: Es la deformación a la fuerza aplicada (m²)

Lo que es igual a la pendiente de dicha porción lineal. Las unidades del módulo de elasticidad son las mismas a las utilizadas para los esfuerzos, esto es ( $\text{lb/in}^2$ ), ( $\text{N/m}^2$ ) o alguna otra unidad correspondiente (Garavito, 2011).

En la figura 21 se presentan los resultados obtenidos de las dos formulaciones propuestas en donde se aprecia que para la formulación 2 se registra una elasticidad de 0.000029 GPa por encima de la formulación 1 que tiene 0.000021 GPa, esto debido a que para la formulación 2 presenta una mayor firmeza y menor elasticidad esto fue debido a que al incrementar la cantidad de plastificante las propiedades del ATP (almidón termoplástico), como la resistencia a la tensión, módulo de Young y la temperatura de transición vítrea disminuyen (Pushpadass *et al.*, 2008).



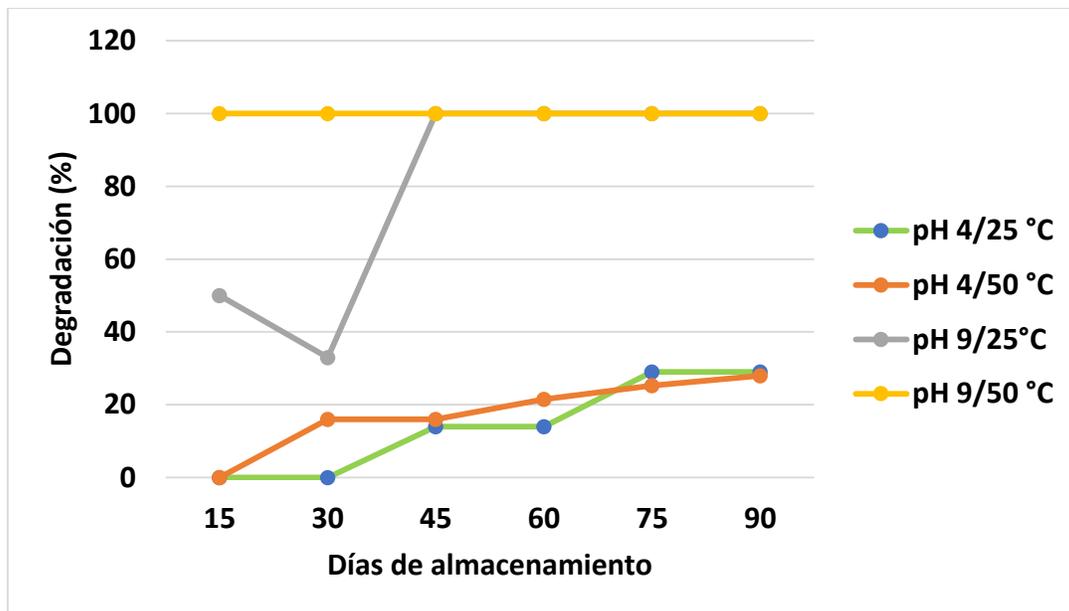
**Figura 21.** Módulo de elasticidad de las formulaciones 1 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 15%, agua 55%] y 2 [Almidón 15%, vinagre 15%, glicerina 12%, agua 58%], de fibra con aglutinantes utilizados para el prototipo de envase.

En el trabajo realizado por Trejos (2014) realizó pruebas a la fibra de coco y esta presentó en el módulo de elasticidad entre 4 a 6 GPa, la baja elasticidad en las muestras realizadas en este trabajo se puede atribuir a humedad no controlada durante la prueba.

#### 5.4 Evaluación de biodegradación del prototipo

La biodegradabilidad es el resultado de la degradación a partir de la susceptibilidad por acción de microorganismos, en la biodegradación aeróbica los microorganismos tales como bacterias y hongos consumen el material orgánico, convirtiendo el carbono en parte de biomasa celular y otra parte en CO<sub>2</sub> y el hidrógeno en moléculas de agua.

En el presente trabajo se evaluó la degradación de las muestras, colocando el prototipo en suelos con pH de 4 y pH 9, variando de igual modo la temperatura a 25 y 50 °C, los resultados obtenidos se muestran en la figura 22.

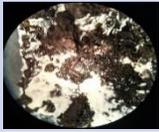
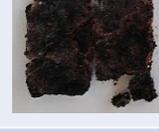


**Figura 22.** Evaluación de la biodegradabilidad del prototipo de envase en diferentes condiciones de deterioro.

El efecto principal en la degradación del prototipo es el pH presentando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la degradación, en donde en la condición de 25 °C a partir de los 45 días se observó que el material se descompuso al 100 %, mientras que a 50 °C el material desde los primeros 15 días ya no se encontraba dentro del suelo. En el caso de las muestras colocadas en pH de 4 la degradación fue menor llegando en 90 días hasta aproximadamente 25 % tres veces menos que lo comparado con

la degradación obtenida en pH 9. En cuanto a la temperatura no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) sobre este factor. De acuerdo con los resultados obtenidos se presenta en la Tabla 12 el seguimiento fotográfico realizado a las muestras prototipo almacenadas durante 90 días en las diferentes condiciones de suelo, observando el proceso de degradación durante el tiempo establecido.

**Tabla 12.** Seguimiento fotográfico de la degradación del prototipo de envase durante el almacenamiento a 90 días en diferentes condiciones.

Temperatura	PH	DÍA 15	DÍA 45	DÍA 90	VISTA POR MICROSCÓPIO
Muestra sin tratamiento					
25 °C	4				
	9				
50 °C	4				
	9				

Como se observa en la tabla 12, las muestras prototipo colocadas en pH de 9 fueron las que se degradaron en mayor medida, mientras que aquellas que se colocaron en suelos ácidos (pH 4) se mantuvieron hasta finalizar el estudio. Es importante señalar que el colocar el prototipo de envase dentro de suelos con diferentes pH sirvió para simular el proceso que podría llegar a tener en diversas condiciones, tanto climáticas como característico de diversos suelos.

En trabajo realizado por Hernández (2013) referente a la biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables observo que el porcentaje de degradación fue de 98 al 100% de área degradada esto en suelos alcalinos y en suelos ácidos y neutros alcanzando un 30 % de área degradada, esto puede deberse a la naturaleza del envase, así como a la interacción de las fibras de coco con respecto al almidón de yuca y además que los enlaces existentes en la fibra de coco en presencia de pH alcalinos tiene una degradación más acelerada. Es importante señalar que el prototipo desarrollado además de tener un proceso de biodegradación eficiente, también se puede considerar compostable ya que se desintegra en su totalidad dentro del suelo en el que se colocó, aumentando así el uso potencial a nivel comercial.

## 6. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

1. El rendimiento de las fibras obtenidas por procesos químicos va disminuyendo conforme avanza el número de tratamientos de hidrólisis, ya que por acción alcalina se va degradando la estructura lignocelulósica teniéndose así diferencia significativa entre los rendimientos.
2. Las propiedades mecánicas muestran los dos tipos de formulaciones que entre mayor porcentaje del elastómero disminuye la absorción del agua en el almidón lo que permitió que en la formulación 2 que tiene mayor cantidad de agua formara mayor cantidad de enlaces hidrofílicos teniendo así una mezcla con propiedades más elásticas.
3. La evaluación de calidad del prototipo de envase comparando los dos recubrimientos propuestos muestra un mejor aspecto con la parafina china debido a que esta cera tiende a ser un poco más elástica a temperatura ambiente.
4. La biodegradación de las muestras en diferentes tipos de suelos y condiciones muestra que en suelos alcalinos tiene el 100 % de degradación en los primeros 15 días, debido a que el 80 % del vaso está compuesto de fibra, y los pH alcalinos tienden a degradar con mayor rapidez la fibra de coco.

## 7. Recomendaciones

Para futuras investigaciones considerar lo siguiente:

- ✓ Considerar la elaboración del vaso mediante moldeo por inyección, con la finalidad de hacer más compacto el vaso y con ello proporcionar una mayor resistencia, uniformidad y aspecto.
- ✓ Hacer un análisis microbiológico, con la finalidad de comprobar que sea un vaso libre de contaminación.
- ✓ Analizar otros tipos de recubrimientos o incorporar algún otro polímero durante el moldeo para evaluar la interacción de los compuestos.
- ✓ Hacer la combinación de diferentes tipos de fibras vegetales para el estudio de sus propiedades mecánicas y de degradación.
- ✓ Realizar la biodegradación en composta y en agua.

## 8. Bibliografía

- Abdul. A. y Luan, Y.S (2000). Functional properties of dietary fiber prepared from deffacted rice bam. Food chemistry. 68:15-19.  
DOI:10.1016/S0308-8146(99)00145-4
- Alfaro Aranda J.D. (2009). Materiales biodegradables para envases alimentarios. Tesis de licenciatura de Química de Alimentos. Facultad de Química, UNAM,
- Alvira, P. Tomas, E. Pejo, Ballesteros, M. Negro, M.J. (2009). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis. A review, Bioresour Technol. (13): 4851-61.  
doi:10.1016/j.biortech.2009.11.093.
- Arandes, J., Bilbao, J. & López, D. (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería Química, Nicaragua. Volumen 5(1):28-45.
- Arrakhiz, F.Z., M. El Achaby, M. El., A.C. Kakou, A.C., Vaudreuil, S., Benmoussa, K., Bouhfid, R., Fassi-Fehri, O., y A. Qais (2012) Mechanical properties of high-density polyethylene reinforced with chemically modified coir fibers: Impact of chemical treatments. Morocco: Elsevier Ltda., 2012.
- ASTM D3039-08. ASTM International. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- ASTM D790-10. ASTM International Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- ASTM D256-10. ASTM International Métodos de prueba estándar para determinar la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo de Izo
- Badui, S. (2006). Química de alimentos. 4ed. México, Pearson.
- Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway. A review, Energy Convers. Pag: 858-875.
- Brodeur, G. E. Yau, E. Badal, K. Collier, J. Ramachandran, K.B. Ramakrishnan, S. (2011). Chemical and physicochemical pretreatment of

- lignocellulosic biomass. A review, *Enzyme Res.* *Enzyme Res.*;2011:787532. doi: 10.4061/2011/787532.
- Burge RM y Duensing WJ. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal foods World*. Pag. 535-538.
  - Cardona, C. E., Hurtado, J. R., & Hurtado, H. A. (2003). Estudio preliminar de la biología floral del cocotero (*Cocos nucifera* L.). *Temas Agrarios* 8(3). <https://doaj.org/article/89c9959b85c7448cac462ed01848fa44>
  - Castellanos, J. Ramón; R. Pérez (2014). Mariana Anisotropía del módulo de elasticidad y de resistencia en compresión de la madera de *Pinus michoacana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pringlei*. Universidad de Guanajuato, Guanajuato México.
  - Cazaurang. M., Peraza, S., Cruz, A (1990). Dissolving grade pulps from henequen fiber. *Cellulose chemistry and technology*. 24, 629–638.
  - Chanchí, G., Bonilla, D., Gaviria, J., Giraldo, J. (2008). Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca. *Revista de Ingeniería de Construcción* (23) 3:145-154. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732008000300002>.
  - Chundawat, S.P.S. Beckham, G.T. Himmel, M.E. Dale, B.E. (2011). Deconstruction of Lignocellulosic Biomass to Fuels and Chemicals, *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*.2:121-145. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061010-114205>
  - Cifuentes, F. Moreno, Y. Vente, M. Montaña, J. (2011) Proyecto empresarial para la producción y comercialización del coco y sus derivados. Centro náutico pesquero Buenaventura.
  - CPTS (2003). Centro de promoción tecnología sostenible. 2003. guía técnica de producción más limpia para curtiembres. Otras medidas de producción más limpia: Principios de la producción más limpia, Capítulo 2, 4p.
  - Dalal N., Bisht V., & Dhakar U. (2020). Potato Starch: Novel Ingredient for Food Industry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(1): Pag: 1718-1724. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.190>

- Dieter Klemm, B. Heublein, H.P. Fink, A. Bohn, (2005). Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material, Angewandte Chemie International.
- Espitia, H. (2010). Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar. Con potencial de aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- FAO (2013). Agroindustrias para el desarrollo. Consultado 13 de septiembre del 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/common-pages/search/es/?q=agroindustria%20>
- FAO (2020). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
- Galeana, E. (2017). Aislamiento de nano fibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de biomateriales que puedan sustituir a las fibras sintéticas. Tesis que para optar por el grado de maestra en ingeniería ambiental UNAM. Ciudad de México.
- Garavito J. (2011). Ensayo de tensión. Protocolo. Curso de materiales. Laboratorio de producción, Facultad de Ingeniería Industrial Colombia.
- Gibbons, M. (1996). Palmeras. Guía de estudio e identificación. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Granados-Sánchez. D. López-Ríos. G. F. (2002). Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.
- Gutiérrez-Rojas, I. Moreno-Sarmiento, N. Montoya, Dolly. (2015) "Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos" Revista Iberoamericana de Micología, 32(1):1-12. DOI: [10.1016/j.riam.2013.10.009](https://doi.org/10.1016/j.riam.2013.10.009)
- Harries, H. C. (1977). The Cape Verde region (1499 to 1549): the key to coconut culture in the western hemisphere. Turrialba 27 (3): 227-231.

- Hernández, K. (2013). Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de licenciatura en Biología.
- Hon, D. Shiraishi, N. (2001). Química de madera y celulosa. Second Ed. New York, Marcel Dekker Inc.
- INTI, (2012). Envases y embalajes. coordinado por Yamila Mathon. - 1a ed. San Martín.
- INEGI, (2020). Inventario de residuos de la Ciudad de México. Consultado el 14 de septiembre del 2023. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=APROVECHAMIENTO+DE+RESIDUOS>
- Kadirvelu, K. Kavipriya, M. Karthika, C. Radhika, M. Vennilamani, N. Pattabhi, S. (2003). Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Bioresource Technology* 87, 129-132. doi: 10.1016/s0960-8524(02)00201-8
- Kumar, P. Barrett, D.M. Delwiche, M.J. Stroeve, P. (2009). Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production, *Ind. Eng. Chem. Res.*
- Lizano, M. (2003). Guía técnica del cultivo de coco. Programa nacional de frutas de el Salvador. Disponible en: <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/2013819141156.pdf>
- López, G., Ros, G., Rincón, F., Periago, M., Martínez, M., Ortuño, J. (1997). Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismo de acción en el tracto gastrointestinal. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*.47(3): 203-207.
- Mc-Currach. C. J. (1970). *Palms of the world*. Harper & Brothers. New York, USA. 290 pp.
- Meneses. D.C. (2011). Caracterización y selección de microorganismos asociados a residuos lignocelulósicos (fruto y torta) de la higuera (*Ricinus communis*). Universidad Católica de Manizales. Centro de investigación,

proyección y desarrollo, Instituto de Investigación en: Microbiología y biotecnología agroindustrial, especialización en microbiología industrial. Disponible en: <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/298>

- Menon, K. P. V. ; Pandalal, K. M. (1958). The coconut palm: Amonography. Ernakulan, Indian Central Coconut Committee, October 1956.
- Mirabella, N.; Castellani, V.; Sala. S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. Journal of cleaner production 65:28-41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- Mohanty, Amar K., Misra, Manjusri., Drzal, Lawrence T., E. Selke, Susan., R. Harte, Bruce, y Hinrichsen, Georg. (2005). Natural fibers, biopolymers and biocomposites: An Introduction. Book: Natural fibers, biopolymers and biocomposites. Boca Raton, Florida: Tylor & Francis.
- Morales S. (2015). Hidrólisis ácida de Celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. Instituto de catálisis y petroleoquímica consejo superior de investigaciones científicas. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales\\_de\\_la\\_rosa\\_silvia.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf)
- Murray, A.E. y D. Hattis (1978). Approaches to a practical assessment of supply and demand for chitin products in the United States. Ea.; "Muzzarelli and Pariser."
- Novoa, M. (2005). Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento. Tesis de maestría. Universidad de Colima. Disponible en: [https://www.academia.edu/36476691/UNIVERSIDAD\\_DE\\_COLIMA\\_ELABORACION\\_Y\\_EVALUACION\\_DE\\_TABLEROS\\_AGLOMERADOS\\_A\\_BASE\\_DE\\_FIBRA\\_DE\\_COCO\\_Y\\_CEMENTO](https://www.academia.edu/36476691/UNIVERSIDAD_DE_COLIMA_ELABORACION_Y_EVALUACION_DE_TABLEROS_AGLOMERADOS_A_BASE_DE_FIBRA_DE_COCO_Y_CEMENTO)
- Parada Puig (2019). Hemicelulosa. Disponible en <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/> (2019).

- Pinkert, A. Marsh, K.N. Pang, S. (2017). Reflections on the Solubility of Cellulose. Ind. Eng. Chem. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie1006596>
- Productos de coco orgánico (2021) Disponible en <http://www.decocorganico.com/cocotero-o-palma-de-coco-cocos-nucifera/> 2021.
- Prinsen. P. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas, in, CSIC - Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS) Universidad de Sevilla. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/66265>
- Pushpadass, H.A.; Marx, D.B.; y Hanna M.A. (2008). Effects of extrusion temperature and plzticizers on the physical and functional properties of starch films. Starch starke. Pag 527-538.
- Rubin. E.M. (2008). Genomics of cellulosic biofuels, Nature, 454:14;454(7206):841-5. doi: 10.1038/nature07190.
- SAGARPA (2023). Intención de siembra y cosecha. Consultado 11 de septiembre del 2023. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/agroprograma/>
- SAGARPA (2016). Agroindustria transformación sin límites. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agroindustria-transformacion-sin-limites>
- Salvador, M., Amigó, V., Nuez, A., Sauquillo, O., Llorens, R., Martí, F. (2008). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzos en matrices termoplásticos. Instituto Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Sánchez, B. (2005). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra dietética del fruto del Níspero (*Eriobotrya japonica*) y de la cáscara de mango obo (*Mangifera indica* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la mixteca. Oaxaca, México.
- Santos, L. (2014). Aislamiento de hongos filamentosos con propiedades de producción de la enzima celulasa. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Biotecnología*. Vol. 16 (2). Sociedad Mexicana de biotecnología y bioingeniería. Pag 2.
- Schwitzer, M. K., (1985). Technical uses of palm kernel and coconut oil. *Proc. Symp. Leatherhead. June. Food Research Association y FOSSA International*.
- Segura, D., Noguez, R., Espin, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología V14 CS3*.
- SEMARNAT (2018). Dirección general de gestión de calidad del aire. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/retc/es/articulos/consultas-de-informacion-retc?idiom=es>
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Pag 51. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Toj, O.D. (2008). Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco, para utilización en matrices fibro-reforzadas. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala 2008.
- Trejos J.D. (2014). Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio. Facultad de Ingeniería Mecánica Pereira.
- Ulloa, J. E. (2014). Estudio del efecto de xilanasas fúngicas en la degradación de sustratos lignocelulósicos. Santiago de Chile. Universidad de Chile.
- Wadhwa, M.; Bakshi, M. P. S.; Makkar, H. P. S. (2013). Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products. H. Makkar, ed.
- Yepes, S.; Montoya, I.; Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales - frutas – en Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Universidad Nacional*.