



Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

**Trabajo de Investigación:**

**“Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz”**

**Mariangela Brigitte Ortega Cahui**

Para optar el Grado Académico de Bachiller en

**Ingeniería Industrial**

Arequipa – Perú

2019

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un bioplástico a partir de paja de arroz y residuos de granos de arroz. La extracción de la celulosa de la paja se realizó mediante la remoción de hemicelulosa y lignina, aplicando hidrólisis básica usando NaOH al 10 % y realizando un blanqueamiento a la pulpa con NaClO al 1 %. Para la obtención del almidón se trituraron los residuos de granos partidos, éstos se mezclaron con agua, se dejó sedimentar la mezcla, se filtró y se secó el almidón. Los porcentajes de recuperación para celulosa y almidón fueron de  $42.06 \pm 3.21$  % y  $47.44 \pm 7.09$  % respectivamente. Para la elaboración del bioplástico se realizaron 02 formulaciones con proporciones distintas de almidón y celulosa, las cuales se mezclaron con ácido acético, glicerina y agua; los resultados obtenidos fueron discutidos.

**Palabras clave:** *Paja de arroz, celulosa, almidón, hidrólisis básica, bioplástico.*

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to develop a bioplastic from rice straw and residues of rice grains. The cellulose was extracted from the straw by removing hemicellulose and lignin, applying basic hydrolysis using 10 % NaOH and bleaching the pulp with 1 % NaClO. To obtain the starch, the residues of broken grains were crushed, they were mixed with water, the mixture was left to sediment, the starch was filtered and dried. The recovery percentages for cellulose and starch were  $42.06 \pm 3.21$  % and  $47.44 \pm 7.09$  % respectively. For the elaboration of the bioplastic, 02 formulations with different proportions of starch and cellulose were made, which were mixed with acetic acid, glycerin and water; the results obtained were discussed.

**Keywords:** *Rice straw, cellulose, starch, basic hydrolysis, bioplastic.*

## ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....	1
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2 Pregunta principal de investigación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Justificación .....	3
1.4.1 Teórica .....	3
1.4.2 Social.....	3
1.4.3 Ambiental .....	3
1.5 Alcances y Limitaciones.....	3
1.5.1 Alcances.....	3
1.5.2 Limitaciones.....	3
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1 Plástico.....	4
2.1.1 Composición .....	4
2.1.2 Tipos de plástico .....	5
2.1.3 Contaminación por envases descartables de plástico.....	6
2.2 Biopolímeros.....	6
2.2.1 Tipos de Biopolímeros .....	7
2.3 Bioplásticos.....	8
2.4 Arroz.....	8
2.4.1 Producción.....	8
2.4.2 Paja .....	8
2.4.3 Contaminación Ambiental producida por la paja .....	9
2.4.4 Composición química.....	10
2.4.5 Proceso de pulido del arroz.....	12
2.4.6 Arroz partido .....	13
2.5 Gelatinización .....	13
2.6 Extracción de la Celulosa.....	14
2.7 Hidrólisis Básica.....	14
2.8 Nanocristales de celulosa .....	14

2.9 Hidrólisis Ácida .....	15
CAPÍTULO 3 ESTADO DEL ARTE .....	16
CAPÍTULO 4 DESARROLLO METODOLÓGICO .....	20
4.1 Metodología de la Investigación.....	20
4.2 Método.....	21
4.3 Población y Muestra .....	21
4.3.1 Población.....	21
4.3.2 Muestra.....	21
4.4 Operacionalización de Variables.....	22
4.1.1 Variable Independiente: .....	22
4.1.2 Variable Dependiente:.....	22
4.5 Técnica e instrumentos y Colecta de Datos .....	24
4.5.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	24
4.5.2 Análisis de datos.....	24
CAPÍTULO 5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
5.1 Parte Experimental .....	25
5.2 Procedimiento.....	25
5.2.1 Materiales, equipos y reactivos .....	25
5.2.2 Extracción de la fibra de celulosa de la planta.....	26
5.2.3 Extracción del almidón de los residuos de granos de arroz partido .....	30
5.2.4 Elaboración del Bioplástico .....	32
5.3 Análisis de resultados .....	33
5.3.1 Extracción de la fibra de celulosa de la planta.....	33
5.3.2 Obtención del almidón de residuos de granos de arroz partido.....	34
5.3.3 Elaboración del Bioplástico .....	36
CONCLUSIONES .....	38
6.1 Conclusiones .....	38
6.2 Recomendaciones .....	38
6.3 Trabajos futuros .....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Estructura de la amilosa y amilopectina. ....	7
Figura 2. Estructura química de la celulosa. ....	11
Figura 3. Estructura de la fibra de Celulosa. ....	11
Figura 4. Selección del arroz. ....	12
Figura 5. Cortado y lavado de la Paja de arroz. ....	27
Figura 6. Paja de arroz en bandejas dentro de la estufa. ....	27
Figura 7. Molido de la paja. ....	28
Figura 8. Tamizar la paja molida. ....	28
Figura 9. Extracción de celulosa con NaOH. ....	29
Figura 10. Fibra de Celulosa obtenida. ....	29
Figura 11. Procedimiento de extracción de la celulosa. ....	30
Figura 12. Sedimentado de almidón. ....	31
Figura 13. Almidón obtenido después del secado. ....	31
Figura 14. Procedimiento para obtención del almidón. ....	32
Figura 15. Procedimiento para elaboración del bioplástico. ....	33
Figura 16. Celulosa de la paja de arroz. ....	34
Figura 17. Celulosa Blanqueada. ....	34
Figura 18. Almidón de arroz. ....	35
Figura 19. Bioplástico Formulación 01 y 02. ....	36
Figura 20. Bioplástico usando la Formulación 02. ....	36
Figura 21. Formulación 02 utilizando mandioca. ....	37

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de los plásticos.....	5
Tabla 2. Composición química de las fibras de paja. ....	10
Tabla 3. Operacionalización de Variables. ....	23
Tabla 4. Proporción para la preparación del bioplástico.....	32
Tabla 5. Determinación del porcentaje de recuperación. ....	33
Tabla 6. Porcentaje de recuperación del almidón. ....	35

## **INTRODUCCIÓN**

Debido a la situación del planeta en cuanto a la contaminación y uso del plástico surgió la necesidad de elaborar proyectos que utilicen los residuos que se generan durante la cosecha del arroz para obtener un plástico biodegradable. En nuestro país, durante el proceso de cosecha, se producen cantidades de residuos desperdiciándose los tallos y las hojas. Los plásticos comunes son producidos a partir del petróleo. Estos polímeros tienen un tiempo de degradación muy largo y por lo tanto se acumulan en el planeta generando grandes cantidades de basura, que contamina los suelos, los ríos y mares. Se han tomado medidas como el reciclaje de estos residuos, pero este proceso sigue produciendo grandes cantidades de sustancias tóxicas y siguen afectando al medio ambiente [1].

Alrededor del mundo se están desarrollando materiales como el plástico biodegradable que deriva de los residuos agrícolas, éstos se definen como una nueva generación de plástico que reduce significativamente el impacto ambiental en términos de efecto invernadero y consumo de energía. [2]. A comparación de los plásticos convencionales, los plásticos biodegradables representan grandes ventajas para el medio ambiente, éstos se degradan en compuestos como agua, CO<sub>2</sub> y humus. Se estima que la producción de bioplásticos aumente de 0,36 Megatoneladas (Mt) desde el 2007 a 3.45 Mt en el 2020 [3].

La eliminación de la paja de los sembríos es el principal problema en la cosecha de arroz, retirarla de los campos agrícolas implica un costo elevado, por esta razón, lo más fácil y rentable para las personas es quemar la paja, generando al medio ambiente diversos daños como la contaminación al aire, al lugar y zonas aledañas, debido a la combustión de la paja [4].

El objetivo del presente trabajo de investigación es aprovechar los residuos generados en la producción agrícola de arroz, utilizando la paja generada de la cual se plantea extraer la celulosa y de los residuos de granos partidos en el proceso de pulido de los que se obtendrá el almidón; para generar un bioplástico a nivel de laboratorio.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

El arroz es uno de los más importantes cereales de mayor producción en el mundo; según explica la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el año 2017 la producción mundial de arroz alcanzó 759,6 millones de toneladas y aumentó en 1,1% el año 2018 [5]. El Ministerio de Agricultura (MINAGRI) de Perú, entre enero y febrero del 2019, se sembraron 210 353 hectáreas; y en Arequipa se cosecharon 19 388 toneladas entre enero y marzo del mismo año [6].

En los cultivos de arroz, por cada tonelada de producción se genera una tonelada de paja; ésta representa una dificultad para los agricultores por lo que éstos buscan la salida más fácil para deshacerse de ella; una de las prácticas más comunes es quemarla, otros optan por arrojarla a los ríos y en muy pocas ocasiones la convierten en pacas [4].

La industria del plástico crece cada año, ésta posee grandes índices de crecimiento desde inicios del siglo pasado. Hoy en día la producción de plásticos supera los 160 millones de toneladas [7]. La industria del plástico tiene procesos con efectos negativos y compuestos contaminantes para el planeta, lo que ha generado conciencia

ciudadana y preocupación en las autoridades; las perspectivas de esta industria han ido cambiando a lo largo de la historia reciente, y ahora se centran en una mejora medioambiental [8] .

El consumo de plásticos sintéticos y la acumulación de estos productos afectan a los ecosistemas y dañan la salud de los seres vivos, la producción de arroz genera miles de toneladas de desechos, estos residuos pueden usarse para obtener biopolímeros; por lo que surge la idea de reutilizar los desechos generados en la producción agrícola de arroz en la región de Arequipa elaborando un bioplástico a escala de laboratorio.

## **1.2 Pregunta principal de investigación**

¿Cómo producir un bioplástico a escala de laboratorio a partir de paja de arroz y residuos de arroz partido?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Obtener un bioplástico a escala de laboratorio a partir de paja y residuos de arroz partido.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar una metodología para la extracción de celulosa de la paja y obtención de almidón del arroz partido;
- Calcular el porcentaje de rendimiento de la celulosa y almidón obtenidos;
- Definir la formulación para el proceso de fabricación del bioplástico a nivel de laboratorio.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Teórica**

Según las revisiones bibliográficas, se han realizado investigaciones de extracción de celulosa y obtención de almidón de diversos residuos agroindustriales, usándolos para producir productos biodegradables que reemplacen al plástico.

### **1.4.2 Social**

Es de gran importancia para los agricultores de arroz, tener la oportunidad de aprovechar los residuos generados durante la producción de este cereal. La utilización de los residuos para obtener bioplásticos, podrían generar ingresos extras y a su vez contribuir a la disposición adecuada de los residuos generados.

### **1.4.3 Ambiental**

Las grandes cantidades de paja generadas durante producción agrícola de arroz en la región Arequipa, así como el uso de plásticos de forma indiscriminada generan un gran impacto ambiental. La producción de materiales biodegradables que no dañan el medio ambiente está siendo estudiada para reemplazar los plásticos, debido a que ellos, se degradan en un tiempo más corto.

## **1.5 Alcances y Limitaciones**

### **1.5.1 Alcances**

La presente investigación tiene como alcance extraer la celulosa de la paja de arroz, almidón de los granos partidos de arroz y con éstos elaborar un bioplástico, todos los insumos serán recolectados en la provincia de Camaná.

### **1.5.2 Limitaciones**

La investigación presenta limitaciones como la escasez de materia prima por temporadas, ya que la cosecha de arroz en la región de Arequipa se da entre enero y junio, y el resto del año ya no se contaría con la materia prima.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Plástico**

El plástico está formado por moléculas llamadas polímeros, éstos a su vez se producen por la unión de moléculas denominadas monómeros, éstos se unen en cadenas de diferentes formas. Se forman a través de procesos de extrusión, moldeo o hilado y se caracteriza por su elasticidad y flexibilidad [9].

La industria del plástico ha ido creciendo considerablemente año tras año, actualmente, su producción supera los 160 millones de toneladas. Hoy en día, son miles los productos elaborados a partir del plástico, para esto se necesitan millones de litros de petróleo. Debido a su composición la degradación de estos productos tarda muchos años, y por lo tanto la contaminación debido a la acumulación de estos productos va en aumento cada año. Por esta razón en algunos países han tomado la decisión de controlar el consumo de estos productos [7].

##### **2.1.1 Composición**

Los plásticos están compuestos por cadenas moleculares complejas, algunos son de origen natural, como la celulosa, o sintéticos, como el poliestireno o el nylon; en general, los plásticos están formados por grandes cadenas de

polímeros formados por monómeros. A su vez, esos monómeros están formados simplemente por carbono e hidrógeno [10].

### 2.1.2 Tipos de plástico

**Tabla 1. Clasificación de los plásticos.**

	<b>Tipos</b>	<b>Usos</b>
Termoplásticos	Poliétilenos	Bolsas, recipientes, contenedores
	Poliésteres saturados	Botellas para bebidas, envases alimenticios
	Poliestirenos	Protectores en embalajes, planchas aislantes
	Polivinilos	Tuberías de agua y gas, aislantes eléctricos, impermeables, antiguos discos de música
	Polipropilenos	Cajas, estuches con tapa abatible, jeringuillas
Termoestables	Fenoles	Aislantes eléctricos, interruptores, bases de enchufe
	Aminas	Clavijas, interruptores, recubrimientos de tableros
	Resinas de poliéster	Embarcaciones, piscinas, fibras y tejidos
	Resinas epoxi	Material deportivo, alas de aviones, adhesivos
	Fenoles	Aislantes eléctricos, interruptores, bases de enchufe
Elastómeros	Cauchos	Neumáticos, mangueras, artículos de goma
	Neoprenos	Trajes de submarinismo, rodilleras, correas
	Poliuretanos	Gomaespuma, piel artificial, guardabarros
	Siliconas	Prótesis, sondas y tubos de uso médico, cierres herméticos

Fuente: [11].

Existen plásticos con distintas propiedades que pueden ser de tres tipos: Termoplásticos, termoestables y elastómeros, dentro de los más utilizados están los primeros; sin embargo, dentro de estos tipos de plásticos hay distintas variedades las cuales se verán en la **Tabla 1**.

### **2.1.3 Contaminación por envases descartables de plástico**

La contaminación en el mundo va en aumento cada año, a menudo vemos en revistas, periódicos, en redes sociales, la contaminación a la que nos vemos expuestos.

En las ciudades sólo el 12% de habitantes respira aire limpio; esto supone que estamos expuestos a diversas enfermedades. La contaminación representa hoy en día un factor preocupante para toda la población. Los envases de plástico, si bien es cierto, nos facilitan la vida, pero consideran gran porcentaje en la contaminación del ambiente. Se estima que en 2020 el ritmo de producción de plásticos habrá aumentado un 90% con respecto a niveles de 1980, China es el principal productor de plásticos seguido de Europa, Norte América y Asia (excluyendo ya a China) [12].

El tecnopor es el principal material para los envases descartables, y aunque ya en muchos países han prohibido su uso, en Perú aún eso no es posible. Debido a que es usado para la reserva de alimentos y en este proceso se mezcla de diferentes sustancias lo que hace muy difícil su reciclaje.

## **2.2 Biopolímeros**

Los biopolímeros son macromoléculas que están dentro de la composición en los seres vivos, pueden derivar de organismos naturales o también los pueden imitar y reproducir, a través de funciones parecidas al material procedente. Son semejantes con los tejidos de origen humano y se degradan en periodos cortos, convirtiéndose en productos menos tóxicos y son eliminados por el cuerpo humano [7].

## 2.2.1 Tipos de Biopolímeros

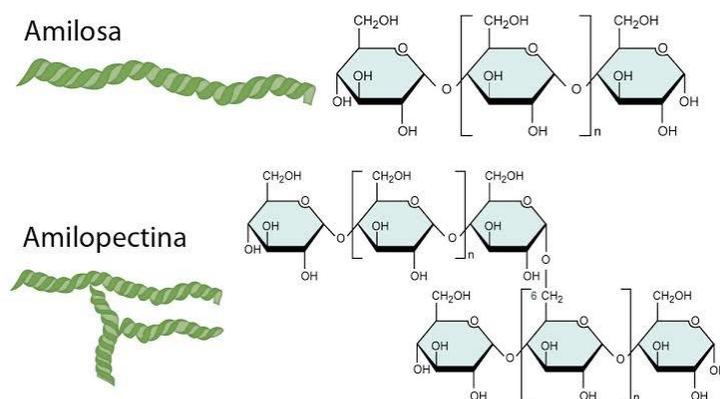
### 2.2.1.1 Celulosa

La celulosa fue utilizada para hacer algunos de los primeros polímeros. Los plásticos se pueden obtener de materia natural como la celulosa, éste es uno de los muchos polímeros encontrados en la naturaleza, se puede encontrar en residuos agrícolas y biomasa leñosa. Se encuentra dentro de la biomasa de la planta, junto con la hemicelulosa y lignina y es el principal componente de las paredes celulares. [13].

### 2.2.1.2 Almidón

El almidón se localiza principalmente en varias partes de las plantas. Compuestas generalmente por 2 polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina, cuya estructura se muestra en la **Figura 1**, ambos compuestos están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa (cadenas de restos de  $\alpha - D -$  glucopiranosilo). En el caso de la amilopectina, está formada por  $\alpha - D -$  glucopiranosilo, unidas por enlaces  $\alpha - (1 \rightarrow 4)$  [14].

**Figura 1. Estructura de la amilosa y amilopectina.**



Fuente: [9].

### 2.2.1.3 Quitina

La quitina es un polímero biodegradable que se encuentra en abundancia, está presente en el exoesqueleto de los crustáceos, y representa un potencial alto en la aplicación en la agricultura. La quitina y sus subproductos son utilizados en el

control de enfermedades y plagas vegetales [15]. Sus unidades de N-acetilglucosamina están unidas entre sí con enlaces  $\beta$ -1,4 [7].

### **2.3 Bioplásticos**

Los bioplásticos surgen del procesamiento de productos de origen natural, ejemplo almidón o celulosa. Para su elaboración se utilizan estructuras químicas las cuales hacen que los microorganismos puedan degradar dicho material, sin embargo, algunos plásticos biodegradables derivan del petróleo y no se deben confundir con los bioplásticos, estos productos (biodegradables) derivados del petróleo no satisfacen las normas internacionales de biodegradabilidad como: DINV 54900, ISO 14855, EN 13432, en tanto que los bioplásticos si cumplen con estas normas. La degradación de los bioplásticos desechables es menor a un año y el residuo final es generar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y biomasa. Es lo opuesto a los productos plásticos desechables y de poliestireno expandido que se pueden demorar hasta 1,200 años en degradarse en los ecosistemas lo cual genera contaminación acumulativa [1].

### **2.4 Arroz**

#### **2.4.1 Producción**

El arroz es uno de los más importantes cereales de mayor producción en el mundo, según explica la FAO, en el año 2017 la producción mundial alcanzó 759,6 millones de toneladas y aumentará en 1,1% este año [5], actualmente se cultiva en 42 países, en el Perú se sembraron 210 353 hectáreas y en Arequipa se produjeron 19388 toneladas este último año [6].

#### **2.4.2 Paja**

La paja resulta de la descomposición de los tallos la planta, su media puede llegar entre 0,6 y 1,8 metros de altura. Éstos tienen una panícula de 20 a 30 cm

de largo, cada una de éstas está compuesta por 50 y 300 espiguillas, éstas son las que contienen los granos.

La eliminación de la paja en los campos de arroz es uno de los problemas más graves durante la cosecha, esto por el elevado costo de su retiro, así mismo, no es posible usarlo como alimento para animales debido a su baja digestibilidad, posee alto contenido de lignina y sílice; por lo que lo más fácil y rentable es quemarla en el campo durante algunos días, generando al medio ambiente una contaminación elevada en el aire, en el lugar y zonas aledañas, debido a la combustión de la paja [4].

A parte de quemarla, existen otras dos opciones para su gestión, una es el triturado e incorporación al suelo, y otra es la retirada del campo para su posterior aprovechamiento. Otra de las alternativas que más se ha practicado últimamente es la de retirar la paja para darle un nuevo uso, como el generar energía, utilizarla para fabricar compost, papel, en la bioconstrucción, en obtener ácido levulínico, el cual es utilizado en la industria química para la fabricación de plásticos, aditivos y herbicidas, entre otros. [4]

#### **2.4.3 Contaminación Ambiental producida por la paja**

En algunas ciudades del mundo se han tomado medidas para la gestión de la basura y buscar una forma de reducir la contaminación que genera la quema de ésta, recogiendo toda y disponiéndola en los rellenos sanitarios. Sin embargo, en otras partes del mundo no sucede esto, ya que las ciudades carecen de instalaciones que posibiliten la correcta disposición de basura, por lo que la disponen quemarla [17].

Según información obtenida del National Center for Atmospheric Research (NCAR), El 40 % de basura que se produce mundialmente es quemada para eliminarla lo cual provoca una gran emisión de gases y partículas que afectan al medio ambiente [16].

Para los agricultores, la manera más económica y fácil de deshacerse de los residuos de la planta de arroz, es quemando los desechos, lo que genera un gran volumen de emisiones de gases contaminantes al medio ambiente. Esta solución se realiza con el propósito de preparar de manera rápida el campo de cultivo, limpiándolo de los restos del cultivo de arroz.

La eliminación de residuos agrícolas por medio de la combustión genera 40 % de CO<sub>2</sub> y 32 % de CO, además produce el 20 % de la materia particulada y 50 % de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), todas estas partículas son expuestas al medio ambiente, generando grandes niveles de contaminación [17].

#### 2.4.4 Composición química

##### 2.4.4.1 Composición química de las fibras de paja

Algunos componentes de las fibras son la celulosa, la lignina y la hemicelulosa, también tiene componentes en menor cantidad como la ceniza, en la **Tabla 2.** podemos ver la composición química de las fibras lignocelulósicas de la paja de arroz; de forma general se puede decir que el mayor componente presente es la celulosa [18].

**Tabla 2. Composición química de las fibras de paja.**

	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosas (%)	Ceniza (%)
Fibras de paja de arroz	41.94 ± 0.45	4.09 ± 0.07	36.39 ± 0.16	11.41 ± 0.28

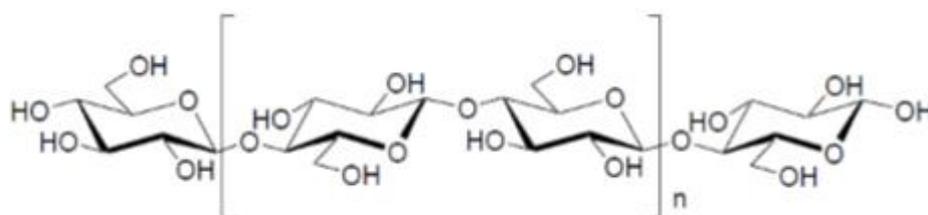
Fuente: [18].

##### 2.4.4.2 Celulosa de la paja de arroz

En la tierra, la celulosa es uno de los polímeros más abundante. Representa aproximadamente 1,5 x 10<sup>12</sup> toneladas de la producción total anual de la biomasa terrestre [19].

La celulosa es el componente principal de los vegetales y se encuentra en sus paredes celulares, su estructura química se puede ver **Figura 2.**

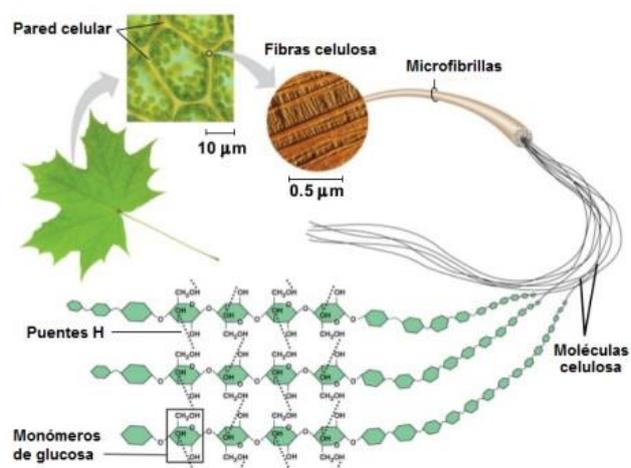
**Figura 2. Estructura química de la celulosa.**



Fuente: [20]

La celulosa se encuentra dentro de la biomasa de la planta, junto con la hemicelulosa y lignina y es el principal componente de las paredes celulares. Los polímeros de celulosa están unidos por enlaces de hidrógeno y Van Der Waals, es por eso por lo que está envuelta en microfibrillas que están cubiertas por hemicelulosa y lignina (ver **Figura 3**) [13].

**Figura 3. Estructura de la fibra de Celulosa.**



Fuente: [9]

#### 2.4.4.3 Hemicelulosa

La hemicelulosa está compuesta por polímeros, éstos a su vez están compuestos por distintos tipos de monómeros. La hemicelulosa sirve para unir lignina y celulosa proporcionando rigidez a la pared celular. La glucosa, manosa, galactosa, xilosa, arabinosa, son algunos de los monosacáridos que se encuentran en la hemicelulosa [19].

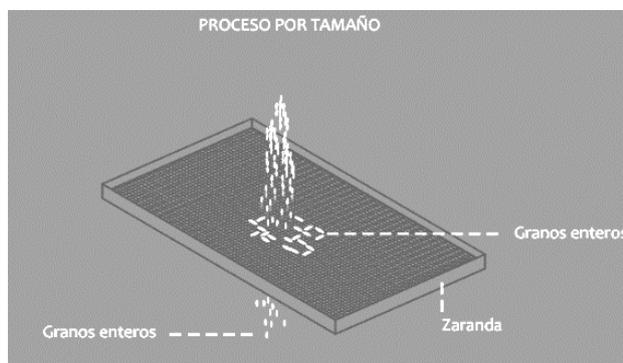
#### 2.4.4.4 Lignina

La lignina se encuentra en los vegetales, y es el tercer biopolímero más abundante. Está ubicado principalmente en la lámina media de la pared celular y en las capas de la pared celular, forma parte de la matriz que cubre las microfibras de la celulosa. La lignina está formada por unidades de fenilpropano, es resistente a la degradación enzimática, esto hace que sirva como una barrera para el agua. Su función en la planta es darle soporte estructural, impermeabilidad y resistencia. Al remover la lignina y la hemicelulosa, las fibras de celulosa mejoran su cristalinidad y estabilidad térmica [20].

#### 2.4.5 Proceso de pulido del arroz

El arroz pasa por una serie de procesos desde la cosecha para obtener el arroz que se encuentra en el mercado, se somete a una limpieza, a un secamiento, descascarado, el pulimiento, entre otros procesos que nos dan como resultado un grano limpio y blanco; dentro del proceso de pulimiento el arroz es blanqueado con unos equipos que remueven la capa de aleurona (harina de arroz), los granos obtenidos pasan a una clasificación, donde el arroz es separado de acuerdo a su tamaño, en la **Figura 4** se puede observar cómo se obtiene el arroz entero y arroz partido [21].

**Figura 4. Selección del arroz.**



**Fuente:** [21]

#### **2.4.6 Arroz partido**

En el proceso de pulido del arroz se realiza una clasificación de los granos obtenidos, donde se separan los granos enteros de los partidos, los cuales presentan distintos tamaños. El arroz partido son los fragmentos del grano de arroz obtenidos durante el proceso de clasificación del arroz, es separado después de la fase del pulido del arroz, y tiene una medida menor a  $\frac{3}{4}$  del grano entero [22].

El arroz partido se clasifica en:

- a) Arroz partido grueso: Son fragmentos que presentan una longitud igual o mayor a  $\frac{1}{2}$  grano, pero menor a la longitud de un grano entero.
- b) Arroz partido de tamaño medio: Son fragmentos que presentan una longitud igual o mayor a  $\frac{1}{4}$  de grano, pero menor a la longitud de un grano partido grueso.
- c) Arroz partido pequeño: Son fragmentos que presentan una longitud menor a la de un grano partido de tamaño medio, pero que no pasan el ancho de malla de 1,4 mm.
- d) Fragmentos: Son granos que atraviesan una mala de 1,4 mm [23].

#### **2.5 Gelatinización**

La gelatinización es la pérdida de cristalinidad del almidón, al someterlo a calor y agua en abundancia, en este proceso el agua ingresa en las regiones amorfas del grano y provoca que estos se hinchen, al producirse este hinchamiento, también se produce la extracción de la amilosa. Si los granos se siguen sometiendo a calor, se romperán y, la amilosa y amilopectina se dispersarán; terminando este proceso se generará una pasta formada por cadenas de amilosa altamente hidratadas [1].

## **2.6 Extracción de la Celulosa**

A lo largo de los años se han desarrollado muchos tratamientos para la extracción de la celulosa. Las fibras se pueden romper en polímeros pequeños usando ácidos o bases; el tratamiento ácido, solubiliza la hemicelulosa, mientras que el tratamiento básico, remueven la lignina. El tratamiento alcalino se lleva a cabo a baja temperatura y tiempos largos, utilizando NaOH, KOH o  $\text{Ca(OH)}_2$  generalmente, en concentraciones altas [20].

## **2.7 Hidrólisis Básica**

La Hidrólisis Alcalina es un proceso químico en el que se utiliza NaOH o  $\text{Ba(OH)}_2$ ; éstos son agentes que al disolverse descomponen el material orgánico; este proceso se realiza utilizando agua y temperaturas generalmente bajas [23].

A partir de este proceso se remueven sustancias, se reduce el tamaño de la fibra de celulosa; al aplicar la hidrólisis básica; se elimina la hemicelulosa, cierta parte de la lignina, pectina, entre otras sustancias de la fibra de celulosa [24].

## **2.8 Nanocristales de celulosa**

Los nanocristales de celulosa se obtienen a partir de compuestos agroindustriales; gracias a sus propiedades están aumentando sus aplicaciones en la industria; a través de varias experimentaciones con base en la estructura de la celulosa, y los resultados que arrojaron estos cálculos, se obtuvieron cristales que contenían una rigidez similar a la del acero. Este compuesto se obtiene por dos métodos, uno es aplicando hidrólisis ácida y el otro a través de una hidrólisis enzimática con el uso de bacterias. El compuesto final tiene propiedades como la de no toxicidad, biodegradabilidad, alta resistencia, conductividad térmica y transparencia óptica [20].

## **2.9 Hidrólisis Ácida**

Es el método más conocido para extraer las nanopartículas de celulosa; generalmente se usa ácido sulfúrico en las fibras; y se produce bajo condiciones de temperatura, agitación y tiempo [2].

La hidrólisis ácida puede darse con ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico, a cierta temperatura y en un determinado tiempo, lo que da como resultado nanocristales de celulosa capaces de resistir temperaturas muy altas. Ya que el ácido elimina la mayor parte de hemicelulosa y lignina [20]. Éstos ácidos son efectivos para la extracción, pero también son tóxicos, corrosivos y muy peligrosos, generalmente se usa el ácido sulfúrico en concentraciones por debajo del 4% en peso [13]. Se puede operar bajo dos condiciones al trabajar con ácido sulfúrico, primera con el ácido concentrado, temperaturas bajas y tiempo de reacción largo; la segunda con el ácido diluido, temperaturas altas y tiempo de reacción bajo [25].

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTADO DEL ARTE**

Abril, et al, (2009), analizan la problemática que representa la paja de arroz para el medio ambiente, la contaminación por quemar paja de arroz. Presentan datos como la emisión de CO<sub>2</sub> por la quema, que es de 1.7 toneladas de paja, a nivel mundial la emisión de CO<sub>2</sub> por la quema de paja es de 742,6 millones de toneladas; presentan soluciones para evitar la quema, una de ellas es enterrarla, se genera entre 2,5 y 4,5 veces más CH<sub>4</sub> que quemarla; otra opción es generar energía, pero tiene dificultades de transporte, almacenamiento y tratamiento para eliminar el alto contenido de sílice; por último evalúan la posibilidad de producir celulosa para obtener papel y concluyen que es viable, debido al alto contenido de celulosa que presenta la paja. [4].

En el año 2014, Agustin, et al, prepararon bioplásticos basados en almidón de maíz reforzados con nanocristales de celulosa extraídos de la paja de arroz. Para la obtención de nanocristales de celulosa eliminaron primero la lignina y hemicelulosa utilizando hidróxido de sodio, luego blanquearon la fibra con hipoclorito de sodio; después se realizó una hidrólisis utilizando ácido sulfúrico. Obtuvieron pequeños nanocristales; para obtener el bioplástico usaron distintas proporciones de almidón y nanocristales; realizaron pruebas de resistencia al bioplástico resultante y observaron que ésta aumentó mientras mayor sea

la proporción de nanocristales, pero disminuyó la elasticidad, también la absorción de humedad mejora en la resistencia al agua [3].

En el 2017, en la ciudad de Arequipa, José Llerena Gonzales y Lalo Monzón Martínez, desarrollaron un envase biodegradable utilizando residuos de arroz, plumas de aves y cascara de fruta. Para elaborar este bioplástico extrajeron el almidón del arroz quebrado (reducido a finas partículas) y la queratina de plumas de aves; fortificado con las cascara de mango, glicerina y ácido acético; determinaron los rendimientos de obtención de muestra de cada proceso y en las proporciones adecuadas obtuvieron un bioplástico; al producto resultante le hicieron pruebas de espesor, tracción, deformación, flexión, entre otras para evaluar sus propiedades, obteniendo buenos resultados; posteriormente lograron construir un envase a pequeña escala [7].

Alma García Quiñonez en el 2015, desarrolló un método para obtener un bioplástico usando almidón de maíz, mezclado con aditivos como el ácido acético y glicerina, realizó varias pruebas con distintos tiempos, cantidades y temperatura. Al producto terminado se le realizaron distintas pruebas, probaron la resistencia y el tiempo de la biodegradación para demostrar que cumple con las características de bioplástico y recomendar usos industriales [1].

En el 2015, Alejandra Sánchez Ortiz, utilizó irradiación microondas para obtener celulosa de residuos agroindustriales y de la industria del papel, cáscaras de maní, cascarilla de soya, residuos de maíz, salvados de trigo y residuos de cartón; desarrolló los pasos para extraer la celulosa y producir nanopartículas; utilizando un equipo Microwave Synthesis Reactor Monowave 300, para realizar la síntesis de nanopartículas de celulosa [20].

En el 2017, en México, García Estrada et al, extrajeron pulpa de celulosa de la paja de caña de azúcar, utilizando un proceso de hidrólisis ácida usando con reactivo ácido sulfúrico, previamente realizaron una hidrólisis básica con hidróxido de sodio; repitieron el proceso dos veces, el último utilizando reactivos de grado industrial para posteriormente hacer la comparación de costos y características de los resultados de extracción de la

muestra. Al analizar los resultados, observaron que la fibra obtenida por los dos métodos no tenía una diferencia significativa, pero sí, en la extracción de la pulpa con ácido sulfúrico, ya que con el primer método se extrajo mayor cantidad de pulpa de celulosa. Por último, evaluaron propiedades de la pulpa como la pureza, cristalinidad y tamaño [26].

Pulido, et al, (2016) usaron como fuente para la extracción de la celulosa, el Tule; para remover la lignina residual, hemicelulosa, ceras y otros compuestos se usó una mezcla tolueno / etanol, la muestra blanqueada con NaClO. Las fibras de nanocelulosa fueron sometidas a una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico para romper las fibras de las moléculas de celulosa y para obtener una completa separación de fibras se sometieron a una ultrasonificación. Las fibras resultantes de nanocelulosa fueron caracterizadas por Difracción de Rayos X, Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier y Microscopía Electrónica de Barrido [27].

Jiménez Muñoz, et al (2017) obtuvieron pulpa de celulosa a partir de residuos de agave, sometieron a las fibras a dos métodos de pulpeo, uno alcalino y otro ácido, con NaOH y CH<sub>3</sub>COOH respectivamente, usando aditivos como carbonato de sodio y sulfato de sodio para el primero y HCl, ambos métodos lo realizaron en 9 corridas experimentales a niveles de velocidad de agitación, concluyendo que el rendimiento obtenido por el segundo método es más alto, y que las fibras presentan mejores características que la fibras obtenidas con el método alcalino [28].

Jingjing, et al, (2019), desarrollaron compuestos ecológicos utilizando paja de arroz y almidón de maíz. Analizaron los compuestos resultantes y se observó que los de almidón de maíz presentaban mayor flexión. Los compuestos desarrollados pueden tener una aplicación en paneles de techo o tableros [29].

Ortega Toro en el 2017, evaluó la posibilidad de obtener nanocristales de celulosa de cascarilla de arroz y café, para fabricar materiales biodegradables fortificados con almidón. Se incluye el proceso de obtención de estos nanocristales, acondicionamiento de materia prima, tratamiento alcalino, proceso de blanqueo, hidrólisis ácida; al obtener el nano cristal

de celulosa se pueden fabricar envases para alimentos y bebidas, envases para productos farmacéuticos, y embalaje industrial. [24]

Además del arroz, caña de azúcar, cáscara de plátano, Rozo et al, (2017) analizaron la posibilidad de utilizar los cogollos de piña para para obtener la fibra celulósica, este artículo brinda la secuencia del proceso, los materiales y aditivos que se usarán, un punto importante, es que usaron la sábila de caña de azúcar para eliminar la lignina, por reemplazo de la soda caustica, al obtener la pasta de celulosa se elaboró un papel ecológico, que se puede usar para manualidades y para impresiones. Todo el proceso se realizó de manera artesanal, utilizando hipoclorito de sodio de grado industrial y agua corriente [30].

Una empresa, en Lima, EcoPax, usa materia prima proveniente de los residuos de las plantas de cereales, entre ellos el arroz, para elaborar envases biodegradables. A través de distintos procesos se consigue obtener la pasta de celulosa con la que se puede fabricar papel y envases biodegradables; con el fin de reducir la tala de árboles y el consumo de envases de plástico, la empresa se ha logrado posicionar en el mercado y sus productos se venden en distintas tiendas y supermercados [31].

En Piura, Ávalos Mezones, et al, (2018), han evaluado las necesidades del mercado respecto al uso y consumo de envases bioplásticos y determinar el mercado al que podría dirigirse el producto, también han establecido los pasos y tecnología para la fabricación de envases descartable biodegradables usando como materia prima la cascarilla y almidón de arroz, utilizando un proceso artesanal, que reemplazarían los envases de plástico, obtuvieron un envase con una textura casi lisa, le realizaron pruebas de resistencia, degradación y evaluaron el color del envase, mediante estudios realizados en la ciudad de Piura se demostró que se puede industrializar el proceso de elaboración [32].

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO METODOLÓGICO**

#### **4.1 Metodología de la Investigación**

Para realizar esta investigación se usará como materia prima la paja de arroz recolectada en temporada de cosecha en el distrito de Ocoña y el arroz partido del molino arrocero Virgen de Chapi; el proceso de elaboración se hará en el laboratorio de investigación de la Universidad Tecnológica del Perú, los reactivos a utilizar serán de grado industrial, adquiridos localmente y de bajo costo, para tratar de desarrollar posteriormente un proceso artesanal.

La paja obtenida deberá ser cortada y lavada varias veces para eliminar las impurezas, se secará en una estufa de aire forzado, para luego someterla a una molienda y tamizado. Para la eliminación de la hemicelulosa y lignina se sumergirá la muestra en una solución de NaOH al 10 % con agitación magnética y se someterá la fibra a un blanqueamiento con NaClO con agitación continua, se lavará la muestra hasta obtener un pH neutro, colocar en placas Petri y llevar a una estufa de aire forzado a 60 °C por 14 horas y se registrará su peso [26].

Posteriormente, con los granos previamente lavados y secados, obtendremos polvo de los granos partidos a través del proceso de molienda, los granos en polvo se

licuarán con agua, se filtra la muestra y se agrega agua hasta extraer todo el almidón posible, se dejará reposar la muestra en vasos de precipitados para luego decantarla; la pasta obtenida se dejará secar en placas Petri en una estufa de aire forzado. El almidón resultante se someterá a una reducción de tamaño utilizando un mortero y se tamizará para obtener un tamaño de partícula uniforme.

Para la elaboración del bioplástico se disolverá el almidón obtenido con agua, se mezcla con ácido acético al 5 % y glicerina; la mezcla se someterá a calor en una plancha magnética a 60 °C hasta que se forme una masa, la fibra de celulosa se añadirá en suspensión; colocar la muestra en una placa Petri, secar en estufa para obtener el bioplástico [7].

## **4.2 Método**

### **a. Tipo de Investigación**

La investigación es aplicada, se va elaborar un bioplástico a escala de laboratorio.

### **b. Nivel de Investigación**

Es experimental, debido a que se puede manipular las variables de estudio.

### **c. Diseño de la investigación**

La investigación es experimental, tiene como objetivo utilizar residuos y obtener un bioplástico.

## **4.3 Población y Muestra**

### **4.3.1 Población**

La población es la cantidad de residuos de paja y granos de arroz partido del distrito de Ocoña - Camaná.

### **4.3.2 Muestra**

La cantidad de muestra de paja fue de 15 kilogramos y de residuos de arroz partido de 10 kilogramos procedentes del molino arrocero Virgen de Chapi.

#### **4.4 Operacionalización de Variables**

##### **4.1.1. Variable Independiente:**

Es la variable cuyo valor cambia sistemáticamente para ver el efecto que los cambios tienen [33]. La variable independiente es: Paja de arroz y residuos de arroz cristal.

##### **a) Definición conceptual**

La paja de arroz resulta de la descomposición de los tallos de la planta, éstos tienen una panícula de 20 a 30 cm de largo. Lo más problemático es eliminar la paja de arroz, debido a la dificultad y un costo elevado, posee alto contenido de lignina y sílice; por lo que quemarla es más fácil y rentable para los agricultores, generando una gran contaminación en el aire debido a la combustión [4].

Los granos de arroz partido son los fragmentos del grano eliminados durante el proceso de clasificación del arroz. El arroz partido es separado después de la fase del pulido del arroz, y tiene una longitud menor a  $\frac{3}{4}$  del grano entero [22].

##### **b) Definición Operacional**

Para la fabricación del bioplástico de residuos de paja de arroz y arroz cristal, se evaluará: a) Obtención de celulosa a partir de la paja de arroz; ello se realizará mediante un proceso químico, para lo cual se revisarán distintos métodos de extracción y se desarrollará el más adecuado. b) Obtención de almidón a partir de residuos de arroz partido; se evaluarán distintos métodos de extracción de almidón y se desarrollará el más apropiado.

##### **4.1.2. Variable Dependiente:**

Es lo que el experimentador observa para encontrar el efecto de la variación sistemática de la variable independiente, es la variable que se investiga y se mide [33]. En este caso consiste en el proceso de obtención de bioplástico.

### a) Definición Conceptual

Los bioplásticos se fabrican a partir de productos de origen natural (almidón, celulosa). Para crear un bioplásticos, se buscan estructuras químicas que permitan la degradación del material por microorganismos, como hongos y bacterias [1].

### b) Definición Operacional

Para la fabricación del bioplástico a partir de la paja de arroz y residuos de arroz partido: primero realizamos algunos experimentos preliminares para determinar la proporción adecuada de los ingredientes. La producción del bioplástico requiere de polímeros (almidón y celulosa), un plastificante (glicerina), un disolvente (agua) y un ácido (ácido acético).

**Tabla 3. Operacionalización de Variables.**

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
Variable Independiente	Paja y residuos de granos de arroz partido	Aprovechar la paja y residuos de granos de arroz partido	Fecha de recolección	Mes/Año
			Disponibilidad	Temporada
			Cantidad	kg
Variable Dependiente	Obtención de bioplástico	Cantidad de celulosa	Porcentaje de recuperación de celulosa	%
		Cantidad de almidón	Porcentaje de recuperación de almidón	%
		Volumen de agua y Concentración de CH <sub>3</sub> COOH y glicerina	Volumen de agua	mL
			Volumen de glicerina	
			Cantidad de CH <sub>3</sub> COOH	

**Fuente:** Elaboración propia

## **4.5 Técnica e instrumentos y Colecta de Datos**

### **4.5.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos**

La técnica en esta investigación es observar experimentalmente y como instrumento a usar se recolectarán datos.

### **4.5.2 Análisis de datos**

Se utilizaron tablas estadísticas para los datos obtenidos y gráficos estadísticos, para la presente investigación, utilizando Microsoft Excel.

## **CAPÍTULO 5**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **5.1 Parte Experimental**

El proceso de preparación del bioplástico se divide en tres partes, la primera consiste en la extracción de la fibra de celulosa de la paja, la segunda consiste en la obtención del almidón del arroz partido y la última en la elaboración del bioplástico.

#### **5.2 Procedimiento**

##### **5.2.1 Materiales, equipos y reactivos**

###### **a) Materiales**

- Beakers de vidrio de 50, 100, 500 y 1000 mL.
- Bagueta de vidrio.
- Embudo de vidrio.
- Placas Petri de vidrio.
- Fiolas de vidrio de 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL.
- Mortero de porcelana.
- Pipetas volumétricas de 5 y 10 mL.
- Tamices para granulometría.

- Malla de gasa.
- Papel Filtro Whatman.

**b) Equipos**

- Licuadora.
- Balanza analítica de 04 decimales.
- Estufa.
- Plancha de agitación y calentamiento.
- Refrigeradora.

**c) Reactivos e insumos**

- Paja de arroz.
- Residuos de arroz cristal.
- Hidróxido de Sodio Q.P.
- Ácido Sulfúrico Q.P.
- Hipoclorito de Sodio Q.P.
- Ácido Acético Q.P.
- Glicerina Q.P.

## **5.2.2 Extracción de la fibra de celulosa de la planta**

### **5.2.2.1 Recolección de paja**

Se recolectó la paja en la localidad de Ocoña, provincia de Camaná, las muestras fueron obtenidas en la temporada de cosecha, fueron almacenadas y posteriormente transportadas a la ciudad de Arequipa.

### **5.2.2.2 Lavado y secado inicial**

La paja fue cortada en pequeñas secciones y se lavó con abundante agua para eliminar impurezas (**Figura 5**), luego se escurrió para eliminar el exceso de agua. Para este proceso se utilizó agua potable.

**Figura 5. Cortado y lavado de la Paja de arroz.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

Posteriormente esta muestra se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 24 horas para eliminar la humedad de la paja (**Figura 6**).

**Figura 6. Paja de arroz en bandejas dentro de la estufa.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

### **5.2.2.3 Molienda**

Toda la paja limpia y seca fue molida en una licuadora, para obtener partículas más pequeñas antes de su tratamiento y luego fue tamizada (**Figura 7 y Figura 8**). La muestra fue almacenada a temperatura ambiente hasta su utilización.

**Figura 7. Molido de la paja.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

**Figura 8. Tamizar la paja molida.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

#### **5.2.2.4 Extracción de celulosa de la paja de arroz**

Se pesaron 20 g de paja, las cuales fueron tratadas con 200 mL de hidróxido de sodio al 10 % para eliminar la hemicelulosa, la lignina y otras sustancias; la mezcla se calentó a 65 °C con agitación magnética y al observar la primera burbuja se dejó calentar durante 10 minutos (**Figura 9**).

**Figura 9. Extracción de celulosa con NaOH.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

Después del calentamiento, se dejó reposar la mezcla durante 20 minutos para enfriarla, luego fue filtrada y lavada varias veces para separar la pulpa insoluble y eliminar el exceso de NaOH (**Figura 10**).

**Figura 10. Fibra de Celulosa obtenida.**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

#### **5.2.2.5 Blanqueamiento de la fibra de celulosa**

La fibra de celulosa obtenida se sometió a un proceso de blanqueamiento con 200 mL de hipoclorito de sodio al 1%, durante 20 minutos agitando constantemente (**Figura 11**), se filtró y se lavó con agua repetidas veces hasta obtener un pH de 7. La muestra se colocó en placas Petri y se secó en una estufa durante 14 horas a 60°C.

Se redujo el tamaño de la fibra de celulosa seca y se tamizó la muestra para obtener un tamaño uniforme, se registró su peso y se almacenó hasta su utilización.

La **Figura 11** muestra un resumen del procedimiento realizado para la extracción de la celulosa a partir de la paja.

**Figura 11. Procedimiento de extracción de la celulosa.**



Fuente: *Elaboración Propia.*

## 5.2.3 Extracción del almidón de los residuos de granos de arroz partido

### 5.2.3.1 Recolección de los residuos de granos

Los residuos de granos de arroz partido, fueron recolectados del molino arrocero Virgen de Chapi ubicado en el distrito de Ocoña, provincia de Camaná, fueron almacenadas y posteriormente transportadas a la ciudad de Arequipa.

### 5.2.3.2 Lavado y secado inicial

Los residuos de granos fueron seleccionados y lavados con abundante agua corriente para eliminar impurezas, luego se escurrió para eliminar el exceso de agua. Posteriormente se secaron los granos a temperatura ambiente.

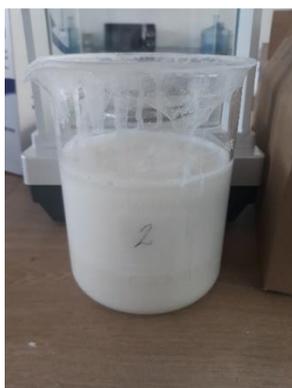
### 5.2.3.3 Molienda

Se procedió a moler en una licuadora los residuos de granos de arroz limpios y secos, hasta observar una muestra casi en polvo, con la finalidad de obtener partículas más pequeñas antes de su tratamiento.

### 5.2.3.4 Preparación del almidón

Los granos en polvo se licuaron con agua durante 4 minutos. Posteriormente se filtró la muestra, se lavó con abundante agua hasta extraer todo el almidón posible, la parte sólida se desechó y se dejó sedimentar la muestra en vasos de precipitados durante 24 horas (**Figura 12**); luego se decantó la muestra manualmente; el almidón obtenido se dejó secar en placas Petri en una estufa de aire forzado por 18 horas a 60°C (**Figura 13**).

**Figura 12. Sedimentado de almidón.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Figura 13. Almidón obtenido después del secado.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Con ayuda de un mortero se procedió a moler el almidón seco hasta obtener un polvo uniforme, se registró el peso final y se almacenó hasta su utilización.

La **Figura 14** muestra un resumen del procedimiento realizado para la obtención del almidón extraído del arroz partido.

**Figura 14. Procedimiento para obtención del almidón.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

#### 5.2.4 Elaboración del Bioplástico

Para la elaboración del bioplástico se revisaron distintas formulaciones según la literatura, se fabricó el bioplástico mezclando los siguientes insumos y aditivos: polímeros (almidón y celulosa), un plastificante (glicerina), un disolvente (agua) y un ácido (ácido acético). La **Tabla 4** muestra la proporción en la cual se realizó el bioplástico [34], [35]. El almidón se disolvió en agua y se mezcló con ácido acético al 5 % y glicerina, se llevó a una plancha magnética a 60 °C, se añadió la celulosa en suspensión y se calentó hasta formar una masa.

**Tabla 4. Proporción para la preparación del bioplástico.**

	<b>Formulación 1 (%)</b>	<b>Formulación 2 (%)</b>
<b>Almidón</b>	15	20
<b>Celulosa</b>	6	4
<b>Glicerina</b>	10	10
<b>Ácido Acético al 5 %</b>	5	5
<b>Agua</b>	64	61

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

La **Figura 15** muestra un resumen del procedimiento realizado para la elaboración del bioplástico.

**Figura 15. Procedimiento para elaboración del bioplástico.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### 5.3 Análisis de resultados

#### 5.3.1 Extracción de la fibra de celulosa de la planta

El proceso de extracción de la fibra de celulosa se realizó por duplicado. Aplicando la metodología consultada y siguiendo los pasos establecidos, con las cantidades óptimas, por cada proceso se obtuvo un porcentaje de recuperación que se muestra en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Determinación del porcentaje de recuperación.**

Proceso	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Recuperación (%)
1	20.0261	7.9678	39.79
2	20.0077	8.8686	44.33
<b>Promedio</b>	20.02 +/- 0.01	8.42 +/- 0.64	42.06 +/- 3.21

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Se puede observar que se obtuvo un 39.79 % en el proceso 1 y un 44.33 % en el proceso 2 de celulosa, la recuperación es similar a otros estudios; en la investigación que realizaron García et al [26], obtuvieron una recuperación del

50 % de fibra de celulosa extraída con hidróxido de sodio y aplicando parámetros de tiempo y temperatura similares, con el método aplicado se logró eliminar la hemicelulosa y la lignina, obteniendo una pasta de color amarillo y de textura rugosa como se muestra en la **Figura 16**.

**Figura 16. Celulosa de la paja de arroz.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Una vez obtenida la celulosa, se procedió a blanquearla utilizando hipoclorito de sodio, este proceso según la literatura revisada [36], ayuda a eliminar lignina aun presente en la muestra. Una figura representativa del proceso de blanqueamiento se presenta a continuación.

**Figura 17. Celulosa Blanqueada.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### **5.3.2 Obtención del almidón de residuos de granos de arroz partido**

El proceso de obtención del almidón de los residuos de granos de arroz se realizó por duplicado. Aplicando el método descrito por Llerena et al [7], se desarrollaron

dos pruebas con las cantidades de arroz y agua propuestas, por cada prueba se obtuvo un porcentaje de recuperación, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Recuperación (\%)} = \frac{\text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

Los porcentajes de recuperación de cada prueba realizada se muestra en la **Tabla 6.**

**Tabla 6. Porcentaje de recuperación del almidón.**

Pruebas	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Recuperación (%)
1	50.0558	26.2538	52.45
2	50.0007	21.2095	42.42
Promedio	50.03 ± 0.04	23.73 ± 3.57	47.44 ± 7.09

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

La cantidad obtenida de almidón extraído según Llerena Gonzales et al, es del 35,24 % en promedio, experimentalmente en el proceso 1 se recuperó un 52,45 % de almidón de 50 g de residuos de grano, el almidón se tamizó, obteniéndose una partícula uniforme. En la **Figura 18** se muestra el almidón, el cual presenta un color blanco y un tamaño de partícula uniforme.

**Figura 18. Almidón de arroz.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### 5.3.3 Elaboración del Bioplástico

De acuerdo con las formulaciones descritas en la parte metodológica (**Tabla 4**), según la literatura revisada se determinaron 02 formulaciones. El Bioplástico de la formulación 01, como se observa, no es uniforme y presenta grietas en su textura final, pero la formulación 02 muestra un bioplástico de mejores características (**Figura 19**); según Ogunrinola [36] esto se debe a la reducción de celulosa en la formulación, al aumentar contenido de celulosa el material se vuelve más frágil, se rompe fácilmente y su textura no es uniforme.

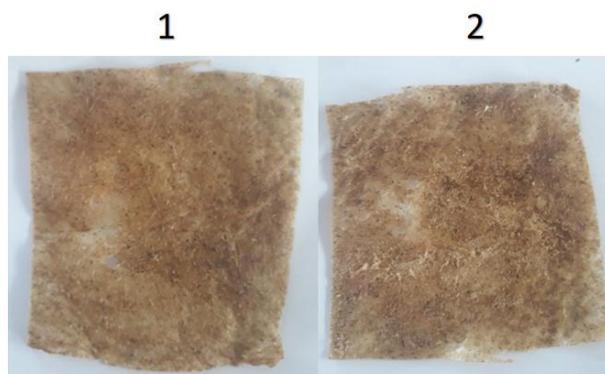
**Figura 19. Bioplástico Formulación 01 y 02.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Con el propósito de reproducir la formulación 02, se elaboraron dos muestras más de bioplástico (**Figura 20**).

**Figura 20. Bioplástico usando la Formulación 02.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Posteriormente se realizó una prueba más a la formulación 02, mezclando en vez del almidón obtenido del arroz cristal, almidón procedente de yuca (mandioca), el bioplástico que se observa (**Figura 21**) muestra diferencias en cuanto al color y elasticidad entre ambos.

**Figura 21. Formulación 02 utilizando mandioca.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

## **CONCLUSIONES**

### **6.1 Conclusiones**

Después de realizar el análisis de los resultados y verificar los objetivos, se concluye lo siguiente:

- Luego de revisar diversas metodologías de extracción de celulosa y de obtención de almidón, se realizó la metodología descrita por García et al [26], para celulosa y la de Llerena et al [7], para almidón.
- De acuerdo a los métodos descritos para celulosa y almidón, se obtuvieron porcentajes de recuperación de  $42.06 \pm 3.21$  % y  $47.44 \pm 7.09$  % respectivamente.
- Se determinó las mezclas adecuadas para el bioplástico, las proporciones de celulosa, almidón, agua destilada, ácido acético y glicerina son descritas en la **Tabla 4**, y se concluye que la de mejor resultados es la formulación 02.

### **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar las pruebas de elasticidad, resistencia a la tracción, dureza y densidad para la caracterización del bioplástico.
- Se recomiendan realizar los estudios de biodegradabilidad del bioplástico.

### **6.3 Trabajos futuros**

- Realizar estudios para proponer una planta de extracción de celulosa y obtención de almidón en la provincia de Camaná.
- Desarrollar productos biodegradables a partir del bioplástico obtenido.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] A. V. García Quiñonez, «Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz,» FEPADE, El Salvador, 2015.
- [2] F. Bilo, S. Pnadini y L. Sartore, «A sustainable bioplastic obtained from rice straw,» University of Brescia, Italia, 2018.
- [3] M. Agustin, A. Bashir y M. Alonzo, «Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw,» SAGE Publications, 2014.
- [4] D. Abril, E. Navarro y A. Abril, «La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento,» Revista de la Facultad de Agronomía., pp. 69-79, 2009.
- [5] O. d. I. N. U. p. I. A. y. agricultura, «Seguimiento del mercado de Arroz de la FAO,» 27 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>.
- [6] MINAGRI, «Boletín Estadístico Mensual,» El agro en Cifras, Enero 2019.
- [7] J. Llerena Gonzales y L. Monzón Martinez, «Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado, queratina obtenida de residuos avícolas fortificado con residuos de cáscaras de mango,» Universidad Católica de Santa María, Arequipa, 2017.
- [8] C. Comunicación, «Juega tu papel,» Cerem International Business School, 13 Febrero 2018.

- [9] E. Castaños, «Lidia con la química». 27 Junio 2015.
- [10] J. E. Gil Mora, «Plásticos de un solo uso,» Mundo Andino, Cusco, 2018.
- [11] M. Torres Búa, «Materiales de uso técnico,» Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria., 12 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/index.html>. [Último acceso: 23 Octubre 2019].
- [12] R. Estévez, «Datos sobre la contaminación que causa el plástico,» Ambientum, 2018.
- [13] M. Mendoza Azabache, Z. Rodriguez y Michelle, «Influencia del tipo de pretatamiento con un líquido iónico o un alcóxido en el rendimiento de azúcares obtenidos por hidrólisis enzimática de la paja de arroz,» Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2018.
- [14] M. Calvo, «Estructura del Almidón,» Bioquímica de los Alimentos.
- [15] M. Ramirez, A. Rodriguez, L. Alfonso y C. Peniche, «La quitina y sus derivados, biopolímeros con potencialidades de aplicación agrícola,» Biotecnología Aplicada, nº 27, pp. 262-269, 2010.
- [16] CCA, «La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas,» Comisión para la Cooperación Ambiental, p. 6, 2014.
- [17] L. Otero, «La quema irregular de basuras aumenta la polución del aire,» Muy Interesante, 2018.
- [18] P. Jingjing, A. Abd El-Fatah, E. Mahdy y Z. Xiuzhi, «Compositional changes of rice straw fibers after pretreatment with diluted acetic acid: Towards enhanced biomethane production,» Elsevier, pp. 775-782, 2019.
- [19] S. Morales de la Rosa, «Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos,» Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2015.
- [20] A. Sanchez Ortiz, «Síntesis de nanopartículas derivadas de biopolímeros extraídos de biomasa por métodos térmicos,» UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN , México, 2015.
- [21] A. ROA, «Proceso industrial del arroz,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.arrozroa.com/proceso-del-arroz>. [Último acceso: 21 Noviembre 2019].
- [22] J. E. Ospina Machado, «Análisis de calidad del arroz elaborado,» de Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos, Colombia, Casa del Libro, 2001, pp. 187-190.
- [23] J. Franquet Bernis y C. Borrás Pamies, Variedades y mejora del arroz (oryza sativa, L.), Catalunya: CopyRapid, 2004.
- [24] C. L. Simbaña Camino, «Estudio de las propiedades físicas y funcionales de un hidrolizado enzimático de proteína de chocho a escala piloto y su aplicación como fertilizante,» Facultad de ingeniería química y agroindustria, 2011.

- [25] R. Ortega Toro, «Desarrollo de materiales biodegradables a base de almidón: Valorización de residuos agroindustriales lignocelulósicos,» ECIENCIA, San José, 2017.
- [26] C. P. Loja Sánchez, «Optimización de los residuos de cascarilla de arroz mediante pretratamiento por hidrólisis ácida para la obtención de azúcares reductores,» Escuela de ingeniería química, Cuenca, 2017.
- [27] E. García, S. García, B. López, C. Sánchez, L. Espinoza y F. Calderón., «Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar,» Agroproductividad, vol. X, nº 11, pp. 54-59, 2017.
- [28] E. Pulido Barragán, B. Z. A. M. Morales Cepeda y F. Lugo de Angel, «Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (Typha domingensis),» Revista de Energía Química y Física , vol. III, nº 6, pp. 31-38, 2016.
- [29] E. Jiménez Muñoz, F. Prieto García y J. Prieto Mendez, «Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de Ágave Salmiana,» DYNA, vol. 84, nº 200, pp. 253-260, 2017.
- [30] J. Peng, A. Abomohra, M. Elsayed y X. Zhang, «Compositional Changes of rice straw fibers after pretreatment with diluted acetic acid: Towards enhanced biomethane production,» Elsevier, China, 2019.
- [31] S. Roza, A. Gonzales y J. Villamizar, «Elaboración de un papel ecológico a base de cogollos de piña,» NOVA, vol. 2, p. 6, 2017.
- [32] A. Ramirez y A. Huachaca, «ECOPAX: Emprendimiento que reemplaza el tecnopor y plástico,» Ecopax Perú, Lima, 2018.
- [33] A. Avalos Mezones y I. Torres Bazan, «Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz,» Universidad de Piura, Piura, 2018.
- [34] J. Ramirez, «Variables dependiente e independiente,» Lifeder, 2017. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/variables-dependiente-independiente/>. [Último acceso: 23 Octubre 2019].
- [35] M. Schon y P. Schwartz, «Production of Bioplastic,» My Science Work, pp. 1-5, 2013.
- [36] Ogunrinola y Akpan, «Production of Cassava Starch Bioplastic Film Reinforced with,» Ijerat, vol. IV, nº 8, pp. 56-61, 2018.
- [37] J. J. Santos Lema y C. A. Silva Arroyo, «Obtención de nanocelulosa a partir de la cascarilla de arroz mediante hidrólisis ácida,» Senescyt, 2019.