



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE QUÍMICA

## ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

### Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

### QUÍMICA

**AUTOR:** JENNY LEIDY CUNALATA GALLEGOS

**DIRECTOR:** Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA M.Ph.D.

Riobamba – Ecuador

2021

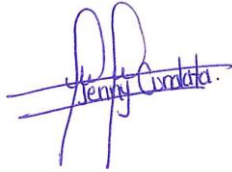
**©2021, Jenny Leidy Cunalata Gallegos**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jenny Leidy Cunalata Gallegos, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos: los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de agosto de 2021



**Jenny Leidy Cunalata Gallegos**  
**172249153-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE QUÍMICA**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Investigación: ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE TRIGO (*Triticum aestivum L.*), realizado por la señorita: Jenny Leidy Cunalata Gallegos, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

|   | FIRMA | FECHA      |
|---|-------|------------|
| Dr. Edmundo Caluña Sánchez Mgs.<br>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL                    | ..... | 19/08/2021 |
| Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina Ph D.<br>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | ..... | 19/08/2021 |
| Dr. Robert Cazar Ramírez MSc.<br>MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN            | ..... | 19/08/2021 |

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mis padres: Neptalí Cunalata y Susana Gallegos, a ustedes padres amados, más que dedicarles esto, se los entrego, esto es de ustedes, esta es obra suya, gracias a su temple, a su lucha, a no dejarme caer nunca; hemos logrado este triunfo, gracias por darme una carrera para mi futuro y confiar en mí; hemos pasado momentos difíciles, pero han estado apoyándome y brindándome todo su amor.

Jenny

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme dado el privilegio de culminar mi carrera, dándome sabiduría, fortaleza y salud, llenando de bendiciones los días de mi vida.

Al Ingeniero Hannibal Brito, quien fue mi tutor por brindarme su ayuda y apoyo en todo el transcurso de este trabajo.

De gran importancia es para mí, mencionara mis padres Neptalí Cunalata Ortiz y Susana de Lourdes Gallegos Martínez, por apoyarme en todo cuanto hizo falta para que yo me sintiera tranquila y con ánimos para seguir adelante. Gracias papá y mamá, por inyectarme su fuerza y valor, para conseguir este objetivo.

Jenny

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |          |
|--|----------|
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....                           | xii      |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | xiii     |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                             | xiv      |
| RESUMEN .....                                      | xv       |
| ABSTRACT .....                                     | xvi      |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | 1        |
| <b>CAPÍTULO I</b>                                  |          |
| <b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>                  | <b>3</b> |
| 1.1 Identificación del problema .....              | 3        |
| 1.2 Formulación del problema .....                 | 3        |
| 1.3 Justificación de la investigación .....        | 3        |
| 1.4 Objetivos de la investigación .....            | 4        |
| 1.4.1 <i>General</i> .....                         | 4        |
| 1.4.2 <i>Específicos</i> .....                     | 5        |
| <b>CAPÍTULO II</b>                                 |          |
| <b>2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>                 | <b>6</b> |
| 2.1 Antecedentes de la investigación .....         | 6        |
| 2.2 Bases teóricas .....                           | 6        |
| 2.2.1 <i>Productos agrícolas del Ecuador</i> ..... | 6        |
| 2.2.2 <i>El trigo</i> .....                        | 9        |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.2.3  | <i>Polímeros</i> .....  | 17 |
| 2.2.4  | <i>Componentes para la elaboración del biopolímero</i> .....      | 27 |
| 2.3    | Planteamiento de la hipótesis .....                               | 29 |
| 2.3.1  | <i>Hipótesis general</i> .....                                    | 29 |
| 2.3.2  | <i>Hipótesis específicas</i> .....                                | 29 |
| 2.4    | Identificaciones variables .....                                  | 30 |
| 2.4.1  | <i>Variable Independiente</i> .....                               | 30 |
| 2.4.2  | <i>Variables Dependientes</i> .....                               | 30 |
| 2.5    | Matriz de consistencia .....                                      | 32 |
| 2.6    | Operacionalización de las variables .....                         | 33 |
| 2.7    | Tipo y diseño de investigación .....                              | 34 |
| 2.8    | Unidad de análisis.....   | 34 |
| 2.9    | Población de estudio.....   | 34 |
| 2.10   | Tamaño de la muestra.....   | 35 |
| 2.10.1 | <i>Selección de la muestra</i> .....                              | 35 |
| 2.11   | Técnicas de recolección de los datos.....                         | 35 |
| 2.11.1 | <i>Obtención del almidón</i> .....                                | 35 |
| 2.12   | Técnica de obtención del bioplástico .....                        | 46 |
| 2.12.1 | <i>Diseño factorial 2<sup>k</sup></i> .....                       | 46 |
| 2.12.2 | <i>Obtención del biopolímero de la cáscara de trigo</i> .....     | 48 |
| 2.12.3 | <i>Técnicas para la caracterización de las biopelículas</i> ..... | 49 |



## CAPÍTULO III

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>3.</b> | <b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>   | <b>55</b> |
| 3.1       | Datos obtenidos de los ensayos físico químicos de la cascara de trigo .....           | 55        |
| 3.1.1     | <i>Rendimientos obtenidos del almidón.....</i>  | <i>56</i> |
| 3.1.2     | <i>Ensayos físico químico para el almidón de la cáscara de trigo.....</i>             | <i>59</i> |
| 3.2       | Resultados obtenidos del bioplástico.....   | 62        |
| 3.2.1     | <i>Análisis del bioplástico.....</i>  | <i>62</i> |
| 3.2.2     | <i>Cálculos realizados a los ensayos de bioplásticos de la cáscara del trigo.....</i> | <i>64</i> |
| 3.2.3     | <i>Resultados de la caracterización físicos y mecánicos del bioplástico .....</i>     | <i>67</i> |
| 3.3       | Discusión .....   | 79        |
| 3.4       | Prueba de hipótesis .....   | 83        |
| 3.4.1     | <i>Hipótesis 1 .....</i>  | <i>83</i> |
| 3.4.2     | <i>Hipótesis 2 .....</i>  | <i>84</i> |
| 3.4.3     | <i>Hipótesis 3 .....</i>  | <i>85</i> |
| 3.4.4     | <i>Hipótesis 4 .....</i>  | <i>85</i> |
| 3.4.5     | <i>Hipótesis 5 .....</i>  | <i>85</i> |
|           | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>86</b> |
|           | <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>86</b> |
|           | <b>RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>86</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   |           |
|           | <b>ANEXOS</b>   |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 1-2.</b>  | Taxonomía y morfología del trigo .....                                | 13 |
| <b>Tabla 2-2.</b>  | Composición del trigo por cada 100 g de parte comestible .....        | 13 |
| <b>Tabla 3-2.</b>  | Forma y tamaño de los gránulos de diferentes clases de almidón .....  | 23 |
| <b>Tabla 4-2.</b>  | Matriz de consistencia .....  | 32 |
| <b>Tabla 5-2.</b>  | Operacionalización de las variables.....                              | 33 |
| <b>Tabla 6-2.</b>  | Descripción del proceso.....  | 36 |
| <b>Tabla 7-2.</b>  | Técnica de ensayos físico químico para el almidón de trigo .....      | 40 |
| <b>Tabla 8-2.</b>  | Tabla de datos obtenido del diseño factorial 2k.....                  | 47 |
| <b>Tabla 9-2.</b>  | Variables y constantes para la elaboración del bioplástico.....       | 48 |
| <b>Tabla 10-2.</b> | Proceso para la elaboración del bioplástico de cáscara de trigo ..... | 48 |
| <b>Tabla 11-2.</b> | Caracterización de las biopelículas .....                             | 49 |
| <b>Tabla 1-3.</b>  | Análisis cuantitativo de la cascara de trigo.....                     | 55 |
| <b>Tabla 2-3.</b>  | Análisis sensorial de la cascara de trigo .....                       | 55 |
| <b>Tabla 3-3.</b>  | Variables para la obtención del almidón de la cáscara de trigo .....  | 56 |
| <b>Tabla 4-3.</b>  | Variables para la obtención del almidón de la cáscara de trigo .....  | 57 |
| <b>Tabla 5-3.</b>  | Análisis de la sensorial del almidón.....                             | 58 |
| <b>Tabla 6-3.</b>  | Análisis de la varianza .....   | 58 |
| <b>Tabla 7-3.</b>  | Resultados de la densidad aparente.....                               | 59 |
| <b>Tabla 8-3.</b>  | Resultados de solubilidad .....                                       | 59 |
| <b>Tabla 9-3.</b>  | Resultados de pH .....  | 59 |
| <b>Tabla 10-3.</b> | Resultados del contenido de ceniza .....                              | 60 |
| <b>Tabla 11-3.</b> | Resultados de humedad y materia seca.....                             | 60 |
| <b>Tabla 12-3.</b> | Resultados de la temperatura de gelatinización.....                   | 60 |
| <b>Tabla 13-3.</b> | Resultados del tamaño del gránulo .....                               | 60 |
| <b>Tabla 14-3.</b> | Resultados de la amilosa y amilopectina .....                         | 61 |
| <b>Tabla 15-3.</b> | Fisicoquímicos del almidón de la cáscara de trigo .....               | 61 |
| <b>Tabla 16-3.</b> | Ensayos preliminares para la formación del bioplástico.....           | 63 |
| <b>Tabla 17-3.</b> | Espesor del bioplástico .....   | 67 |
| <b>Tabla 18-3.</b> | Humedad de los bioplásticos .....                                     | 67 |
| <b>Tabla 19-3.</b> | Solubilidad en el agua de los bioplásticos .....                      | 68 |
| <b>Tabla 20-3.</b> | Ensayo de permeabilidad al vapor .....                                | 68 |
| <b>Tabla 21-3.</b> | Resultados de permeabilidad .....                                     | 69 |
| <b>Tabla 22-3.</b> | Resultados de las propiedades mecánicas del bioplástico .....         | 69 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 23-3.</b> | Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al ambiente ..... | 69 |
| <b>Tabla 24-3.</b> | Degradabilidad de biopelículas por acción del ambiente.....             | 72 |
| <b>Tabla 25-3.</b> | Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al agua .....     | 72 |
| <b>Tabla 26-3.</b> | Registro fotográfico de degradación de biopelículas en agua.....        | 75 |
| <b>Tabla 27-3.</b> | Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al suelo .....    | 75 |
| <b>Tabla 28-3.</b> | Registro fotográfico de variación de tamaño por efecto del suelo.....   | 77 |
| <b>Tabla 29-3</b>  | Análisis de varianza ANOVA del biopolímero .....                        | 78 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                      |  |    |
|----------------------|--|----|
| <b>Gráfico 1-3.</b>  | Tamaño del Bioplástico por ensayo.....                                     | 70 |
| <b>Gráfico 2-3.</b>  | Variación del tamaño del bioplástico.....                                  | 71 |
| <b>Gráfico 3-3.</b>  | Variación porcentual del Bioplástico.....                                  | 71 |
| <b>Gráfico 4-3.</b>  | Tamaño del bioplástico para el tratamiento el agua.....                    | 73 |
| <b>Gráfico 5-3.</b>  | Variación del tamaño por efecto de degradación en agua .....               | 74 |
| <b>Gráfico 6-3.</b>  | Variación porcentual de biopelículas en agua .....                         | 74 |
| <b>Gráfico 7-3.</b>  | Biopelículas por tratamiento para pruebas de degradación en el suelo ..... | 76 |
| <b>Gráfico 8-3.</b>  | Variación de tamaño de biopelículas en el suelo .....                      | 77 |
| <b>Gráfico 9-3.</b>  | Variación porcentual de biodegradación en el suelo .....                   | 77 |
| <b>Gráfico 10-3.</b> | Espesor del bioplástico .....  | 79 |
| <b>Gráfico 11-3.</b> | Humedad del bioplástico .....  | 80 |
| <b>Gráfico 12-3.</b> | Solubilidad del bioplástico .....  | 81 |
| <b>Gráfico 13-3.</b> | Degradabilidad del bioplástico al ambiente.....                            | 81 |
| <b>Gráfico 14-3.</b> | Degradabilidad del bioplástico al suelo .....                              | 82 |
| <b>Gráfico 15-3.</b> | Degradabilidad del bioplástico al suelo .....                              | 83 |
| <b>Gráfico 16-3.</b> | Propiedades del biopolímero .....  | 84 |
| <b>Gráfico 17-3.</b> | Formación de la biopelícula.....   | 84 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura 1-2.</b>  | Estructura de un grano de trigo .....                               | 9  |
| <b>Figura 2-2.</b>  | Elementos que conforman el grano de trigo.....                      | 10 |
| <b>Figura 3-2.</b>  | Tipos de trigo en el Ecuador .....                                  | 12 |
| <b>Figura 4-2.</b>  | Ciclo vegetativo del trigo .....                                    | 14 |
| <b>Figura 5-2.</b>  | Los biopolímeros, clasificación.....                                | 20 |
| <b>Figura 6-2.</b>  | Forma y tamaño de los gránulos de diferentes clases de almidón..... | 23 |
| <b>Figura 7-2.</b>  | Estructura de la molécula de amilosa .....                          | 24 |
| <b>Figura 8-2.</b>  | Estructura de la molécula de amelopectina .....                     | 24 |
| <b>Figura 9-2.</b>  | Esquema del diseño factorial $2^k$ .....                            | 34 |
| <b>Figura 10-2.</b> | Población de estudio.....   | 35 |
| <b>Figura 11-2.</b> | Diagrama para la obtención del almidón de la cáscara de trigo ..... | 39 |
| <b>Figura 1-3.</b>  | Biopelícula obtenida en los ensayos.....                            | 64 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** OBTENCIÓN DE ALMIDON DE LA CASCARA DE TRIGO
- ANEXO B:** ANÁLISIS DEL ALMIDON OBTENIDO DE LA CASCARA DE TRIGO
- ANEXO C:** OBTENCIÓN DEL BIOPOLIMERO
- ANEXO D:** ANÁLISIS DEL BIOPOLIMERO
- ANEXO E:** ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE POLISACARIDOS
- ANEXO F:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL BIOPOLIMERO
- ANEXO G:** ENSAYO DE TRACCIÓN

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue obtener biopolímeros a partir del almidón de la cascara de trigo (*Triticum aestivum L.*), para la utilización como envolturas de alimentos, se inició con la obtención del almidón siguiendo la guía descrita por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), posteriormente se realizó los análisis fisicoquímicos, seguidamente se procedió a la obtención del biopolímero mediante un diseño factorial  $2^k$  con dos variables (peso del almidón y cantidad del plastificante) cada variable con dos niveles, obteniendo así 4 tratamientos con 4 repeticiones cada una, finalmente, se realizaron pruebas fisicoquímicas y mecánicas y microbiológicas del biopolímero obtenido. El rendimiento del almidón obtenido fue de 15,32 a 21,31 %; el contenido de humedad fue del 11,12%; ceniza 0,10%; solubilidad 0,49%; viscosidad 873,00 SP; el contenido de amilosa fue del 24,33 y el contenido de amilopectina fue 57,75%. La obtención del biopolímero se realizó mediante 4 tratamientos variando los gramos del almidón de la cascara de trigo (4 y 6 g) y la cantidad de plastificante (2 y 3 mL), todos los tratamientos dieron resultados favorables formando la película que poseía transparencia apreciable sin embargo la estabilidad no fue buena en todos los tratamientos, solo el TP1 presentó estabilidad del biopolímero en todas sus repeticiones, el espesor de las películas de plástico fue de 0,2 mm, con un porcentaje de humedad del 12,17%, solubilidad del 58,42%; las pruebas mecánicas también resultaron favorables, además se obtuvo más del 95% de degradación del biopolímero dentro de los 45 días. En conclusión, el biopolímero con mejores resultados fue el obtenido con el TP1 obteniéndose una película transparente y estable que posteriormente puede ser moldeada para ser utilizada en la industria agroindustrial reduciendo así el uso del plástico tradicional por lo tanto contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental.

**Palabras clave:** <ALMIDÓN>, <TRIGO (*Triticum aestivum L.*)>, <BIOPOLIMERO>, <DEGRADACIÓN>, <FORMULACIÓN>.



12-07-2021  
1365-DBRAI-UTP-2021

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to obtain biopolymers from the starch of the wheat husk (*Triticum aestivum* L.) to use as food wrappers. First, the starch was obtained following the guidelines described by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Later, the physicochemical analyses were carried out, then the biopolymer was obtained through a 2k factorial design with two variables (weight of starch and amount of plasticizer), each variable with two levels, thus obtaining 4 treatments with four repetitions each. Finally, physicochemical, and mechanical and microbiological tests were carried out on the biopolymer obtained. The yield of the starch obtained was from 15.32 to 21.31%; the moisture content was 11.12%; ash 0.10%; solubility 0.49%; viscosity 873.00 SP; the amylose content was 24.33 and the amylopectin content was 57.75%. Obtaining the biopolymer was carried out through 4 treatments varying the grams of starch from the wheat husk (4 and 6 g) and the amount of plasticizer (2 and 3 mL). All the treatments gave favourable results, forming a film that had appreciable transparency. However, the stability was not good in all the treatments, only TP1 presented stability of the biopolymer in all its repetitions, the thickness of the plastic films was 0.2 mm, with a humidity percentage of 12.17%, the solubility of 58.42%, mechanical tests were also favourable, in addition, more than 95% degradation of the biopolymer was obtained within 45 days. In conclusion, the biopolymer with the best results was obtained with TP1, obtaining a transparent and stable film that can later be moulded to be used in the agro-industrial industry, thus reducing the use of traditional plastic, therefore contributing to the reduction of environmental pollution.

Keywords: <STARCH>, <WHEAT (*Triticum aestivum* L.)>, <BIOPOLYMER>, <DEGRADATION>, <FORMULATION>.



## INTRODUCCIÓN

Los residuos derivados del plástico cuyo precursor es el petróleo, representan una amenaza al equilibrio natural de la naturaleza, debido a su prolongado tiempo de degradación, su producción y uso excesivo, y en conclusión por el gran impacto contaminador que tiene sobre flora y fauna en todo el planeta. Frente a la problemática global planteada que radica en un impacto ambiental significativo, es necesario plantearse alternativas de sustitución para los polímeros derivados de petróleo, es así que, los biopolímeros presentan un alto potencial para reemplazar al plástico convencional, teniendo como característica fundamental una degradación de corto plazo ya que sobre este material actúan microorganismos como bacterias, hongos y algas.

La fabricación de objetos plásticos es atractiva por su costo, la duración de sus productos y la resistencia a elementos de desgaste y deterioro, sumado a su capacidad de resistencia química y la moldeabilidad. La industria del embalaje, envolturas, recipientes, envases por nombrar las más populares, están elaborados por polímeros sintéticos, los cuales tienen una vida útil de ciclo corto haciendo referencia a su uso, no así, si se considera su duración como material que no se degrada con facilidad; por tanto, debido a su alto grado de carácter desechable, este tipo de plástico tienen un gran impacto negativo en el medio ambiente.

Considerables esfuerzos se realizan con el fin de desarrollar varios tipos de resinas y artículos plásticos biodegradables. Los polímeros de fuentes renovables que pueden ser útiles para fabricar materiales biodegradables, suelen tener como principal componente el almidón y mezclas de polímeros hechos de este último con otros polímeros degradables. (Khemani, et al.,2007)

El termoplástico de almidón, es un material que se obtiene por la disrupción (modificación) estructural que se da dentro del granulo de almidón cuando este es procesado con un bajo contenido de agua y la acción de fuerzas térmicas y mecánicas en presencia de plastificantes que no se evaporan fácilmente durante el procesamiento (Bastioli, 2001).

El termoplástico de almidón presenta varios atributos, además de su biodegradabilidad, es un material renovable, flexible y se puede acondicionar muy fácilmente a diferentes procesos de termoplastificación usando equipos estándar utilizados en la fabricación de polímeros sintéticos, tales como inyección por moldeo, extrusión por soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión, extrusión de película plana y radiación por moldeo, aunque se ha reportado la utilización de un nuevo método en la preparación de películas de almidón termoplástico usado en el cubrimiento de alimentos. (Villada, et al.,2008)

El uso de biopolímeros abre un gran potencial económico y benéfico en el área de los empaques, dada la similitud de los materiales naturales con los sintéticos por sus excelentes propiedades mecánicas; en el Ecuador se consume 450.000 toneladas métricas, de los cuales un porcentaje aproximadamente el 14% constituye el salvado, que es utilizado para el sector ganadero, los costos y la disponibilidad son una oportunidad para plantear una propuesta de construcción de un biopolímero, que se convierta en alternativa y en materia prima para envolturas y recipientes; además contribuir a bajar la contaminación que provoca el plástico sintético.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Identificación del problema

Gran parte de los plásticos son artículos de los cuales su degradación se extiende a lo largo del tiempo, provocando progresivamente una fuerte contaminación ambiental. El problema es que los plásticos se utilizan en grandes cantidades debido a su baja degradabilidad, lo que se traduce en la generación de exorbitantes cantidades de residuos, son muy resistentes al medio ambiente y su costo es bajo debido a su alto rendimiento a escala industrial. Las fracciones en las que el plástico llega a dividirse, contaminan los ecosistemas del planeta, puesto que las sustancias que contienen son tóxicas; llegando a deteriorar considerablemente la flora y fauna a nivel global, y a su vez afectando todas aquellas reservas naturales que sirven como fuente de consumo humano. Dicha contaminación se origina en las fábricas e industrias que trabajan con plástico sin importar el impacto negativo que tiene con el medio ambiente, seguido de nosotros mismos ya que consumimos aquel producto elaborado con plástico.

En producción, se requiere la mitad de la energía para generar productos biodegradables. La ventaja de estas laminas biodegradables es que permiten que todos sus elementos constituyentes restauren la naturaleza para adaptarse a la circulación natural de sustancias. A diferencia de los productos no biodegradables, tienen un tiempo de descomposición más largo y, por lo tanto, representan un problema para el medio ambiente.

### 1.2 Formulación del problema

¿Cómo el almidón obtenido a partir de la cascara de trigo, permite conseguir un biopolímero con características físico químicas funcionales que se apliquen a los plásticos?

### 1.3 Justificación de la investigación

El motivo de realización de este proyecto se origina por la necesidad de reducir la contaminación actual. Existen antecedentes que señalan, que el consumo de plástico surgió aproximadamente a mediados del siglo XX y a partir de ello; la producción y uso del mismo ha crecido y no ha cesado. Ha sustituido a otro tipo de materiales, como los envases de plástico, en el ámbito doméstico, comercial e industrial. Debido a su versatilidad y bajo costo, su uso se

ha incrementado dramáticamente y se sabe que los problemas de contaminación ambiental son preocupantes. Todo el plástico que desechamos de una forma u otra termina en el océano, lo que afecta a diferentes tipos de ecosistemas porque es un producto que necesita ser biodegradado durante cientos de años.

Por lo tanto, hay una emergencia ambiental, porque los humanos somos los autores intelectuales y somos responsables del caos ambiental existente, si no lo saben ahora, las consecuencias futuras serán responsabilidad de los humanos. Por ello, es necesario centrar la investigación en el cuidado y protección que sin duda merece en el medio ambiente. Hay contaminación a gran escala en todo el mundo, lo que hace que los animales y las plantas que rodean a los humanos sigan deteriorándose.

El trigo aumenta la producción según el tiempo de cosecha, entonces los agricultores perderían. Se podría brindar la viabilidad de la extracción de almidón para producir láminas biodegradables, las cuales están hechas de ingredientes naturales que son fáciles de descomponer en el medio ambiente. Se recicla menos energía para proporcionar una producción más rápida y eficiente.

Por otro lado, países desarrollados han firmado un acuerdo para utilizar cultivos renovables para producir materias primas químicas a un costo mucho menor que los métodos tradicionales de síntesis química a base de petróleo. Los Biopolímeros ayudaría a la minimización de los aspectos negativos ambientales aportando favorables beneficios, por eso es necesario conocer las problemáticas del medio ambiente en la actualidad.

En Ecuador, el trigo es un cereal de gran producción por lo que facilita la obtención de la materia prima. De la misma manera el proyecto se enfoca en la adquisición de almidón de trigo en temporada alta lo que beneficia el acceso de los mismos con bajos costos.

Para la realización de este trabajo de investigación se contará con los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, colectivamente con el grupo de investigación GIADE, con el aporte de un 55% al proyecto investigación institucional, de la misma manera se va seguir la normativa para los manejos de polímeros de acuerdo con el Ministerio de Ambiente del Ecuador

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### ***1.4.1 General***

Elaborar un biopolímero utilizando almidón de la cáscara de trigo (*Triticum aestivum L.*).

#### ***1.4.2 Específicos***

- Establecer las características del almidón obtenido de cáscara de trigo (*Triticum aestivum L.*) como materia prima para la elaboración de biopolímero.
- Elaborar biopolímero con diferentes porcentajes de almidón de la cáscara de trigo.
- Identificar la concentración óptima del almidón y plastificante para la obtención del biopolímero.
- Determinar las características físicas, químicas, mecánicas y degradables del biopolímero obtenido.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Los bioplásticos son compuestos que se producen con materia prima originada de la propia naturaleza, como, por ejemplo: celulosa, poliéster microbiano, almidón, etc.; siendo el almidón el principal compuesto para la elaboración de los mismos; debido a características como el bajo costo, disponibilidad, alta competitividad monetaria y fundamentalmente su biodegradabilidad y facilidad de renovación. (Obtención de bioplástico a partir del almidón de maíz (*Zea mays* L.), 2020).

En la investigación publicada por (Pizá, et al, 2017) en el “Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú” se realizó como un estudio preliminar para futuras investigaciones, sustituir el polímero por un biopolímero amigable con el ambiente aprovechando los residuos que se generan en la industria.

Según la investigación realizada por (Guamán, 2019) en la “obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial” demostró que las láminas de bioplástico requirieron de 30 días en un medio aerobio en tierra agrícola para su biodegradabilidad de 92.05%. Es una alternativa sostenible para el ambiente.

En la investigación desarrollada por (Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente., 2017), en la transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente, presentaron resultados que el bioplástico depende en gran medida de las concentraciones de almidón y mucílago, es decir; a mayor cantidad de almidón el bioplástico tiende a fragmentarse.

#### 2.2 Bases teóricas

##### 2.2.1 *Productos agrícolas del Ecuador*

Se entiende como producto agrícola a cualquier artículo, sea éste materia prima o producto final que entra en el mercado con la finalidad de convertirse en un bien de consumo humano; (FAO/OMS, 2001)

Ecuador, al constituirse como república, adoptó un modelo de producción basado en la utilización de fuentes primarias, tanto de flora como de fauna y en cuya mercantilización no es requisito la adición de un valor agregado, o a su vez una completa transformación en el producto.

A partir de la década de los setenta, la matriz productiva del país, sufrió una total transformación, debido al surgimiento del boom petrolero; consecuentemente pasó de una producción agrícola a una industrial, pero siempre tomando como punto de partida recursos de origen natural. (Viteri, et al., 2018)

La industria secundaria en Ecuador tiene como motor principal de desarrollo a las actividades agrícolas, las cuales permiten generación de capital; sin embargo, el nivel estructural del sector agrario no es el ideal para lograr un sistema agroindustrial que genere un equilibrio económico y comercial.

Tomando en cuenta a nivel global las altas capacidades productivas de alimentos de muchos países, y considerando como referencia a América Latina, América del Norte y Australia; Ecuador se constituye como uno de los países que goza de una capacidad productiva que supera las crecientes demandas alimenticias de su población. (MAGAP, 2016)

Debido a la diversidad geográfica de Ecuador, su producción es extensa; puesto que los diferentes pisos climáticos que posee, hacen posible la producción de una variedad de frutos, tanto tropicales como andinos; sean estos originados a partir de su flora o fauna.

Cada piso climático posee características que permiten la producción de recursos primarios de primera calidad; la zona de producción determina el tipo de producto a generar.

En la Costa, mientras más alejada de sectores áridos y del mar se encuentre la zona productiva, su producción agrícola es mayor; y en la cual destacan: arroz, banano, palma africana, algodón, cacao, caña de azúcar, entre otros.

En la Sierra, aunque una parte considerable de la superficie agrícola esté destinada a pastizales, también se da origen a productos como cebada, trigo, maíz, papa y hortalizas. (La Hora, 2012)

En tanto que, en la Amazonía, aunque la producción agrícola es menor; se da origen también a productos como el maíz, yuca, naranjilla, cítricos, caña de azúcar; pero en mayor cantidad se destina su espacio agrícola a pastizales.

En 2018, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC); 5,3 millones de hectáreas fueron utilizadas para la producción agropecuaria, con cultivos de productos como banano, arroz, caña de azúcar, maíz duro seco, papa y palma africana; los cuales superan a cualquier otro cultivo; y gran parte de estos cultivos se localizan en provincias como Esmeraldas, Guayas, Loja, Manabí y Los Ríos. (INEC, 2019)

El trigo (*Triticum aestivum* L), junto con el arroz, el maíz y la cebada, son los cereales de mayor importancia en el Ecuador. El consumo nacional de trigo supera las 450 000 Tm/año. El Ecuador importa el 98% de los requerimientos internos de trigo (INIAP, 2018)

### *2.2.1.1 Cereales*

Etimológicamente la palabra cereal se origina del latín “cerealis”; y esta palabra a su vez se tomó de la cultura romana, haciendo referencia a la diosa Ceres, que significa crear o crecer; y a su vez equivale también a la diosa griega Deméter que representa fertilidad y abundancia y a su vez era considerada como protectora de la agricultura, sobre todo del trigo y otros cereales.

El descubrimiento de los cereales supuso un gran avance para el hombre, pues sus semillas podían ser cultivadas, cosechadas y almacenadas. Las gramíneas, que son la fuente de origen de los cereales, son semillas con propiedades ricas en aceite, almidón y proteína; las cuales fueron cultivadas por civilizaciones prehistóricas y cuyos cultivos se mantienen en la actualidad. (Martín, et al., 2007)

Los cereales son hierbas en cuyos tallos se forma una espiga de grano. Esos granos comestibles se encuentran protegidos por un hollejo dentro del cual se encuentra la semilla; las semillas o granos comestibles de las gramíneas como el arroz, avena, cebada, centeno, maíz, mijo, trigo y sorgo (Verdini, 2008), se podrían definir como los frutos secos, enteros y sanos, pudiéndose incluir también dentro de esta definición el alforfón o trigo sarraceno (familias poligonáceas), considerado un pseudocereal.

Las gramíneas (familia Poaceae Barnhardt) son plantas angiospermas monocotiledóneas que al llegar a su etapa de cultivo, su forma de presentación es una pequeña espiga compuesta por una o más flores, y éstas a su vez preservadas por unas brácteas llamadas glumas. (Rodríguez, et al., 2008)

A lo largo del tiempo, los cereales con su evolución han dado origen a nuevas especies, en cuyo desarrollo, la humanidad ha jugado un papel importante al tener que seleccionar cuidadosamente aquellos cereales que mejor rinden y mejor se adaptan a las condiciones climáticas y edafológicas.

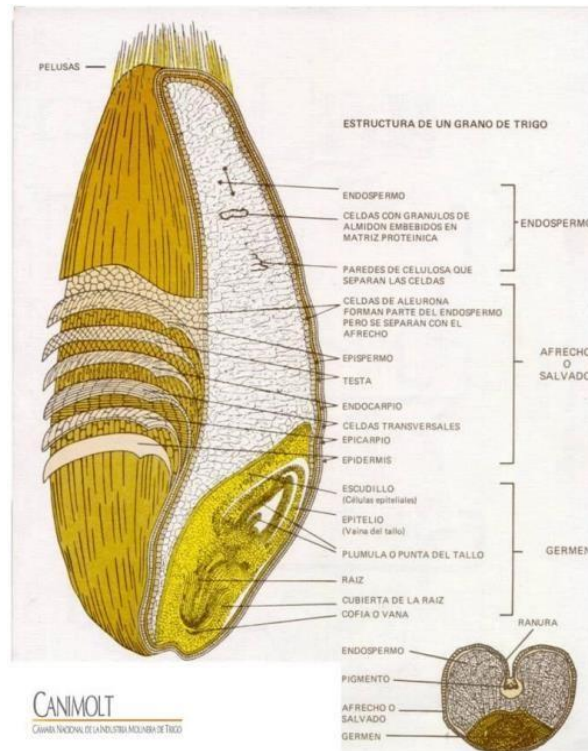
Los cereales son organismos vivos, en los que su evolución ha determinado la supervivencia y desarrollo en determinadas condiciones ambientales, proporcionándoles así la capacidad de germinar y dar origen a una nueva planta, consiguiendo de esta manera una variedad de nuevos frutos.

Los cereales constituyen la base de la alimentación de la gran mayoría de pueblos, por lo que son considerados como los cultivos más importantes a nivel mundial, tomando en cuenta



factores como la superficie destinada para su producción, así como también el volumen de producto obtenido. (Osca, 2013)

## 2.2.2 El trigo

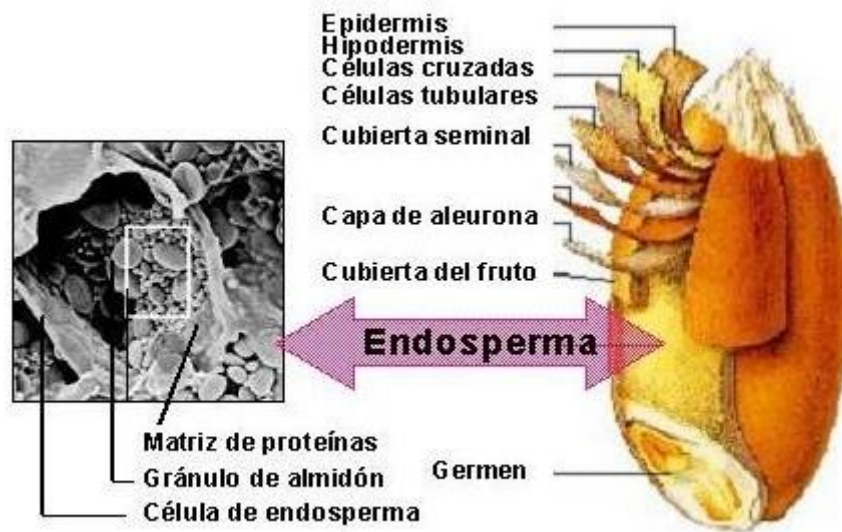


**Figura 1-2.** Estructura de un grano de trigo

**Fuente:** (Hoseney, 1991)

El trigo es uno de los granos más antiguos dentro de las especies cereales; y remontándonos hacia su origen en Irak, se conoce que el trigo surgió en el año 6700 a. C y se extendió hacia el Mediterráneo y Asia Menor; a lo largo del tercer milenio a.C, el trigo ya se cultivaba en toda Europa. (Martín, et al., 2007)

Al igual que los demás cereales, el trigo es una planta, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. Actualmente, los trigos duros o cristalinos se clasifican botánicamente como *Triticum turgidum*, subespecie durum, y los harineros como *Triticum aestivum*, subespecie vulgaris. (Infoagro, 2010)



**Figura 2-2.** Elementos que conforman el grano de trigo

Fuente: (Hoseney, 1991)

Los cereales como: la cebada, maíz, trigo, arroz, se plasman como las primeras cosechas; y las primeras civilizaciones prosperaron debido a las habilidades que adquirieron para producir, almacenar y distribuir los cereales. (FAO, 2012)

A medida que el tiempo ha transcurrido, los cereales de grano se han cultivado principalmente por sus semillas comestibles, constituyéndose, así como parte fundamental de la dieta de gran parte de la población mundial.

El trigo posee una vida de no más de 2 años, por lo que se denomina planta no perenne, y puede crecer de manera silvestre o cultivada. Su origen se remonta a la civilización Mesopotámica; pero fueron los egipcios quienes descubrieron los métodos adecuados, entre ellos la fermentación del trigo; de la que hicieron uso para elaborar alimentos.

Según hacen referencia algunos textos, hace ocho mil años aproximadamente, las plantas de trigo silvestre mutaron; lo que dio paso al origen de una especie de planta con tres o más juegos de cromosomas, y con esas características genómicas la planta comenzó a ser cultivada, lo que llevó a que ese hecho fuera considerado como el pilar de la revolución neolítica.

Tomando como punto de partida la revolución neolítica en territorios orientales, la producción de cultivos de trigo comenzó a desarrollarse, dando paso a que este producto se convierta en uno de los alimentos básicos en la dieta humana; recalcando que gran parte de los alimentos se producen a partir del trigo, y a su vez constituyen entre el 10 y 20 % de la ingesta calórica diaria.

El principal producto que se obtiene de la transformación de los granos de trigo es la harina, que es de dos tipos: Tipo A, común, estándar, fina y extrafina; que se utiliza principalmente para la elaboración de pan y otros productos como galletas, pasteles, etc; Tipo B, sémola, esta no es panificable; y a partir de ella se elaboran productos como pastas y macarrones. (Bonjean, et al., 2001)

La procedencia del trigo cultivado actualmente se encuentra geográficamente ubicado entre la región asiática de los ríos Tigris y Éufrates, donde existen también varias especies de gramíneas silvestres y que están emparentadas directamente con el trigo. El cultivo de trigo se expandió en todas direcciones, tomando como punto de partida a Oriente Medio.

Según (InfoAgro-AGRI nova Science, 2016); hace más de doce milenios el hombre recolectó las primeras formas de trigo, las cuales eran de tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*; estas especies tenían espigas frágiles, las cuales se disgregaron al llegar al punto de madurez.

#### *2.2.2.1 Zonas productoras de trigo en el Ecuador*

Tomando en cuenta el criterio de (Núñez, 2010), Ecuador registra el índice de productividad más bajo de América Latina, con 0.6t/ha; en tanto que a nivel mundial se registra un rendimiento productivo mayor a 1.3t/ha; en países desarrollados, localizados geográficamente en latitudes altas, se han registrado rendimientos productivos de hasta 6.0t/ha. El limitado rendimiento reportado a nivel país, se debe a la ausencia de un conjunto de factores que aportan al desarrollo productivo, estos factores son: semillas certificadas, manejo adecuado del cultivo, variedades mejoradas, mejora de suelos o bajas inversiones en insumos, entre otros.

Los índices de cultivo de trigo en Ecuador, según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (Espac), ejecutada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), arrojó como resultado que Chimborazo es la provincia con mayores plantaciones de trigo a nivel nacional, con un total de 1 687 hectáreas, seguido por Bolívar con 1 015 hectáreas y finalmente Pichincha, con 685 hectáreas. En 2016, los cultivos de trigo llegaron a cubrir 4 617 hectáreas, de las cuales se cosecharon 4 422 hectáreas, obteniendo una recolección de 6 746 toneladas de producto; así lo señala (EL DIARIO.EC, 2017).

### *Tipos de trigo en el Ecuador*



*Triticum durum*

*Triticum aestivum* var.  
Spada

*Triticum aestivum* var.  
Brasilia

**Figura 3-2.** Tipos de trigo en el Ecuador

Fuente: (Agraria, s/n)

#### **Trigo común**

El trigo común (*Triticum aestivum*), conocido también como trigo para producción de pan, es el más cultivado. Entre sus características principales generalmente tiene un alto contenido proteico y de gluten con el endosperma de textura dura o blanda (Yara, 2020).

#### **Trigo durum**

El trigo durum (duro), conocido como trigo para pasta, se caracteriza por su dureza, alto contenido proteico, buen sabor y cualidades de cocción excelentes. La producción anual oscila entre 25 y 30 millones de toneladas, que en términos porcentuales se traduce a un 4% de la producción mundial de trigo (Yara, 2020).

#### *2.2.2.2 Características del trigo*

El trigo es originario de la familia de las gramíneas (Poaceae), siendo el *Triticum durum* y *T. compactum* de las especies más cultivadas; y considerando a nivel mundial, la especie de trigo harinero hexaploide denominado *T. aestivum*, es el cereal más cultivado. (InfoAgro-AGRI nova Science, 2016)

Independientemente del tamaño y forma de las semillas, todo el conjunto de cereales tienen estructuras y valores nutricionales similares. El suministro que provee 100 g de grano entero

corresponde a 350 kcal, así como también cantidades útiles de hierro, calcio y vitamina B (véase el Cuadro 33). Cuando los granos de cereales se presentan en estado seco, carecen en su totalidad de vitamina C, exceptuando el caso del maíz amarillo, y a su vez éste no contiene caroteno. Una dieta balanceada se elabora con alimentos ricos en proteína, grasas saludables, minerales, vitaminas A y C, y adicionalmente cereales. (Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1992)

*Taxonomía y morfología del trigo*

**Tabla 1-2.** Taxonomía y morfología del trigo

| Nº | CARACTERÍSTICAS |                             |
|----|-----------------|-----------------------------|
| 1  | Reino           | Plantae                     |
| 2  | División        | Magnoliophyta               |
| 3  | Clase           | Liliopsida                  |
| 4  | Orden           | Poales                      |
| 5  | Familia         | Poaceae                     |
| 6  | Género          | <i>Triticum L.</i>          |
| 7  | Especie         | <i>Triticum aestivum L.</i> |

**Fuente:** (InfoAgro-AGRI nova Science, 2016)

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 2-2.** Composición del trigo por cada 100 g de parte comestible

| No. | COMPONENTE          | UNIDAD | CANTIDAD |
|-----|---------------------|--------|----------|
| 1   | Energía             | kcal   | 329,00   |
| 2   | Proteínas           | g      | 15,40    |
| 3   | Hidratos de Carbono | g      | 30,00    |
| 4   | Fibra               | g      | 12,00    |
| 5   | Vitamina A          | µg ER  | 9,00     |
| 6   | Vitamina B-3        | mg     | 5,70     |
| 7   | Vitamina B-9        | µg ER  | 43,00    |
| 9   | Vitamina K          | µg ER  | 1,90     |
| 12  | Vitamina E          | mg     | 10,01    |
| 13  | Calcio              | mg     | 25,00    |

|    |                |    |        |
|----|----------------|----|--------|
| 14 | Fósforo        | mg | 332,00 |
| 15 | Magnesio       | mg | 124,00 |
| 16 | Hierro         | mg | 3,60   |
| 17 | Potasio        | mg | 340,00 |
| 18 | Cinc           | mg | 2,78   |
| 19 | Grasa total    | g  | 1,92   |
| 20 | Grasa saturada | g  | 0,00   |
| 21 | Sodio          | mg | 2,00   |

Fuente: (InfoAgro-AGRI nova Science, 2016)

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 2.2.2.3 Ciclo vegetativo

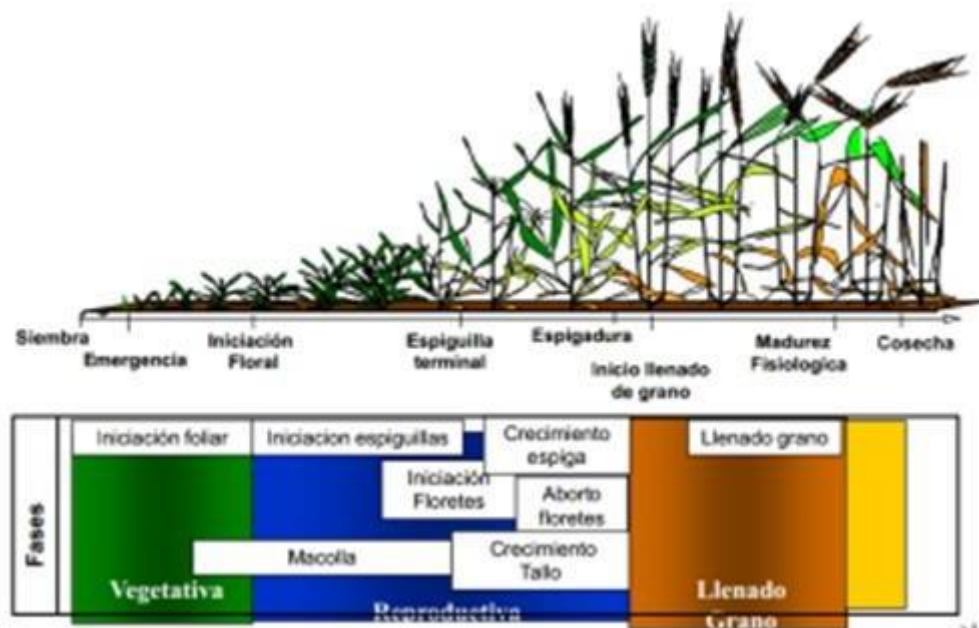


Figura 4-2. Ciclo vegetativo del trigo

Fuente: (Infoagro.com, 2010)

- Raíz: su alcance generalmente suele llegar a medir más de un metro, donde gran parte de ellas se posicionan en los primeros 25 cm de suelo. Su crecimiento da inicio en el periodo de ahijado, donde apenas hay pocas ramificaciones. Para decir que se ha completado el desarrollo de las raíces, se toma en cuenta el final del encañado.
- En condiciones de secano la densidad de las raíces entre los 30-60 cm. de profundidad es mayor, aunque en regadío el crecimiento de las raíces es mayor como corresponde a un mayor desarrollo de las plantas.

- Tallo: sus características principales son: su caña es hueca, posee 6 nudos; y su solidez y altura son factores que establecen la resistencia al encamado.
- Hojas: dispuestas de manera cintiforme, con inervaciones paralelas y terminan en punta.
- Inflorescencia: constituida por una espiga dispuesta de un tallo central de cortos entrenudos, conocidos como raquis, donde nace una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada una de las espiguillas posee nueve flores, de las cuales sólo unas cuantas permanecen en ella.
- Flor: compuesta por tres estambres y un pistilo; se encuentra protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.
- Fruto: es una cariopsis con el pericarpio soldado al tegumento seminal. El endosperma contiene las sustancias de reserva, constituyendo la masa principal del grano.

#### *2.2.2.4 La estructura del grano de trigo*

- La cáscara de celulosa, la cual no tiene valor nutritivo para los seres humanos;
- El pericarpio y testa, dos capas bastante fibrosas que contienen pocos nutrientes;
- La capa de aleurona rica en proteínas, vitaminas y minerales;
- El embrión o germen rico en nutrientes, conformado por plúmula y radícula, las cuales están unidas al grano por el cotiledón;
- El endospermo que comprende más de la mitad del grano y consiste principalmente en almidón.

Cada grano está constituido por cuatro componentes: germen, interior feculento, capas exteriores, mismas que están dotadas de nutrientes y cáscara de naturaleza fibrosa; y estos a su vez están resguardados en su planta de origen por una vaina.

La vaina, así como también el grano, posterior al procesamiento

Tanto la vaina protectora como cada una de las partes del grano, posterior al procesamiento respectivo, dan lugar a una variedad de productos destinados al consumo humano o animal; siendo los primeros quienes requieran de un tratamiento más completo, debido a que los humanos tenemos limitantes para digerir apropiadamente los granos crudos y harinas obtenidas de los mismos. (García, 2010)

### 2.2.2.5 Sistema postcosecha

Estructurado básicamente por tres bloques separados: el primero abarca la cosecha hasta el almacenado del producto, e incluye totalmente todas aquellas operaciones que dan paso a la extracción y estabilización del cereal; el segundo, señalado como procesado preliminar, abarca todas las operaciones, que tienen como finalidad la obtención de productos intermedios, principalmente harinas, pero éstas, no pueden ser consumidas directamente por la población; y el tercero, conocido como procesamiento secundario, comprendido por operaciones que convierten los productos intermedios en finales, como por ejemplo la elaboración de pan. (Guy, et al., 2002)

- *Molturación de cereales y sus productos*

Cuando se ha llevado a cabo el proceso de recolección, secado y, después de un ciclo de almacenamiento de duración variable, los granos de cereal se movilizan hacia las unidades de procesamiento, en las que se desarrollan en primera instancia los tratamientos preliminares, y aunque pueda existir una variación en función a los cereales que se estén tratando; el sistema se constituye básicamente en la limpieza, acondicionamiento y posterior proceso de molienda de los granos.

A través del proceso de molienda, los granos se reducen a polvo, y a su vez se separan las capas externas del grano del endospermo, teniendo como resultado una variedad de productos; el proceso de molienda del trigo es considerado representativo y significativo, debido a que existe un amplio uso de su harina en una diversidad de productos alimenticios, como son la panificación o la repostería, entre otros.

Cabe recalcar que, la estructura de un grano de trigo contiene en su mayoría endospermo feculento, que en términos porcentuales constituye un 85% de su composición, en tanto que un 3% corresponde a embrión o también llamado germen, y el restante 12% corresponde a salvado.

Productos de la molturación del trigo Son los siguientes:

- a. Harinas: De trigo duro:** Tienen un contenido en proteína medio-alto (10 a 16%). Aquellas harinas con contenidos mayores de proteínas, son de utilidad en los procesos de panificación industrial, debido a su mayor porcentaje de contenido de gluten, lo que proporciona mayor resistencia y elasticidad al proceso mecánico, en tanto que las harinas con menores cantidades de contenido proteico, son comercializadas para uso doméstico, debido a que el trabajo manual que se realiza en éstas es bastante sencillo. **De trigo blando:** De contenido proteico medio-bajo (7 a 10%), son utilizadas a tanto a nivel industrial como doméstico en



la producción de galletas, repostería, crackers, etc.

- b. Mezclas:** Permiten obtener harinas "multiuso" para elaboración doméstica de panes o repostería, por lo general lo que se busca es una calidad de gluten la cual facilite la manipulación.
- c. Sémolas:** De la variedad Durum, posee un alto contenido en proteína (10-16%). Su principal uso es en la elaboración de productos de pasta de alta calidad; éstas forman parte de platos tradicionales en ciertos países.
- d. Salvado:** Presenta un alto contenido en fibra (9-12%), el mayor de todas las fracciones del trigo. Se utiliza fundamentalmente en alimentación animal, sí bien se incorpora también en una gran cantidad de alimentos dietéticos o de alto contenido en fibra. (Dendy, et al., 2003 pág. 324)

### 2.2.3 *Polímeros*

La palabra polímero se origina del griego poli, que significa mucho y meros que significa partes, aunque algunos científicos optan por hacer uso de términos como macromolécula o a su vez molécula grande. (Seymour, et al., pág. 3)

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula refiere a molécula muy grande, éste término al igual que el término polímero por lo general son términos que se utilizan de manera indistinta, pero no resultan similares entre sí, debido a que las macromoléculas en su formación no demandan necesariamente de estar compuestas por unidades de repetición.

Un polímero es una gran molécula constituida por la recreación de pequeñas y simples unidades químicas. En ciertos casos, dicha recreación es lineal, asemejándose a como los eslabones conforman una cadena. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. Según el criterio de (Billmeyer, 2004 pág. 3), la unidad repetitiva del polímero es por lo general, semejante o casi equivalente al monómero o material de partida del que se forma el polímero.

Los polímeros, pueden ser de carácter natural o sintético, tomando en cuenta su origen; el contenido de los polímeros sintéticos por lo general se conforma por uno a tres diversos tipos de unidades que se repiten, en tanto que los naturales, también conocidos como biopolímeros demuestran estructuras con mayor grado de complejidad. (Beltrán Rico, et al., 2012 pág. 17).

Los polímeros biológicos constituyen fundamentalmente el origen de la vida y de la inteligencia misma; proporcionando así parte importante y considerable del alimento del que vive el hombre. (Billmeyer, 2004 pág. 3)

Vistos desde un enfoque comercial, actualmente los polímeros sintéticos poseen mayor interés, debido a que constituyen principalmente materiales sintéticos utilizados para la elaboración de plásticos, fibras y elastómeros, pero también hay que tomar en cuenta que están incluidos ciertos polímeros naturales como el caucho, la celulosa y la lana. (Billmeyer, 2004 pág. 3)

Los polímeros son de gran utilidad e importancia en la industria moderna, sus múltiples usos permiten la elaboración de cualquier producto, desde artículos tan simples como utensilios de hogar hasta complejas estructuras como prótesis del cuerpo humano.

Las unidades que reaccionan para generar un polímero se denominan monómeros; y los polímeros que poseen más de un tipo de unidad repetitiva se conocen como copolímeros.

### *2.2.3.1 Biopolímero*

Es un polímero natural orgánico, que se obtiene de fuentes animales, vegetales e incluso bacterias, por ejemplo, la celulosa, el almidón, proteínas, polihidroxicarboxilatos, polisacáridos, entre otros. (Rodríguez Peula, 2017)

Partiendo desde un enfoque químico; la composición de las proteínas está formada por elementos como el carbono, hidrógeno, oxígeno y también azufre, y en ocasiones pueden contener también cobre, zinc, hierro, fósforo; la composición de todos estos elementos se traduce a cadenas integradas por la unión de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. (Hernández, et al., 1999)

Tanto los polímeros como los biopolímeros son macromoléculas, cuyas estructuras están constituidas por el enlace covalente de pequeñas

Los biopolímeros, al igual que los polímeros, son macromoléculas formadas por la unión covalente de pequeños componentes moleculares denominados meros, los cuales se han obtenido a través de un proceso de polimerización, tomando como punto de partida estructuras moleculares más pequeñas, conocidas como monómeros. (Stupp, et al., 1997 pág. 1247)

La celulosa, es uno de los biopolímeros más abundantes en la tierra, seguida por la quitina, la que se obtiene de exoesqueletos crustáceos e insectos.

Una definición de biopolímeros, los considera propios materiales poliméricos sintetizados por los seres vivos, así como también son tomados como biopolímeros, materiales sintéticos que poseen propiedades biocompatibles con el ser vivo. (GARCÍA, 2015)

Estos materiales sintéticos con biocompatibilidad pueden ser procesados por las mismas tecnologías que procesan materiales termoplásticos convencionales, de esta forma los polímeros fundamentados en recursos de carácter renovable, pueden generar potencial interés en la sociedad, así como también en la industria de plásticos y el sector agrícola, debido a que

se esperaría una salida de sus productos hacia diversos mercados.

### *2.2.3.2 Origen*

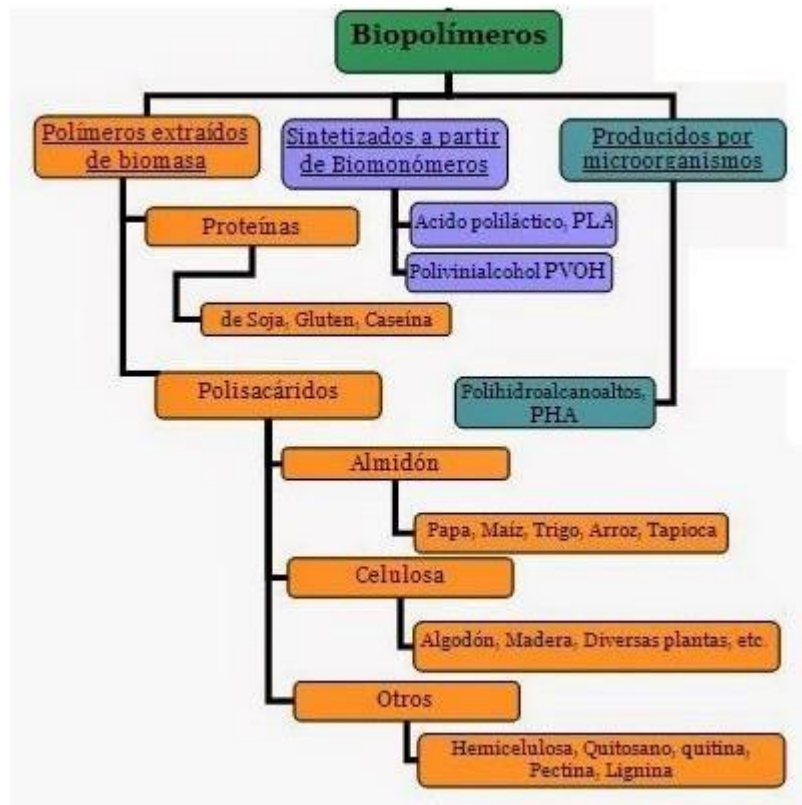
Los polímeros naturales, conocidos también como biopolímeros se producen a partir de un organismo vivo, lo cual los convierte en elementos biodegradables y renovables a la vez, la producción de algunos de estos elementos ya es un hecho, y son extraídos a gran escala para la elaboración de una variedad de productos. Las fuentes de biopolímeros naturales se originan a partir de ecosistemas de tipo animal (gelatina-colágeno), marino (quitosan), agrícola (grasas, lípidos, proteínas) y microbiano (ácido poliláctico/PLA y polihidroxialcanoatos/PHA) (San Martín, et al., 2020 pág. 135)

### *2.2.3.3 Clasificación*

Los bioplásticos poseen tres tipos de grupos de estudio; el primero lo conforman aquellos elaborados a partir de recursos renovables, los cuales se originan en la biomasa y cumplen con las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de productos plásticos.

El segundo grupo de estudio comprende los bioplásticos sintetizados, y no necesariamente tienen que estar fundamentados en materias primas renovables para cumplir la norma, puesto que la biodegradabilidad se relaciona, más con la estructura química, que con las materias primas. (Bastioli, 2013)

El tercer grupo comprende polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) (Vilpoux, et al., 2004).



**Figura 5-2.** Los biopolímeros, clasificación

Fuente: (Vilpoux, et al., 2004).

#### 2.2.3.4 Polímeros naturales biodegradables

En el campo de los polímeros, el término biodegradación refiere a la actuación de microorganismos sobre estos elementos, es un proceso mediante el cual se produce la desintegración del polímero en fragmentos, por efecto de la ruptura de enlaces en su cadena principal. (Virginie, 2011)

La total sustitución de los plásticos por elementos biodegradables para la elaboración de empaques, aún no se ha podido lograr; sin embargo, han podido sustituirse determinados polímeros sintéticos por otros de origen natural en aplicaciones específicas.

Estas sustituciones han facultado el desarrollo de productos con con características específicas relacionadas con propiedades de barrera, mecánicas y térmicas; en determinados empaques como películas, protectores, espumas, entre otros. (Avérous y Boquillon, 2004).

## **Polisacáridos**

Son conocidos por su compleja estructura y diversidad funcional; la estructura lineal de polisacáridos como la celulosa o el quitosán, provee a algunas películas de transparencia, dureza y flexibilidad; son resistentes frente a aceites y grasas, y al entrelazar polisacáridos como el quitosán con aldehídos convierte a la película insoluble en agua y le proporciona mayor resistencia. (Benavides, 2002 pág. 6).

## **Hidrocoloides, lípidos/grasas**

Hidrocoloides, tiene origen animal y vegetal; entre sus usos están algunas formulaciones específicas en el cubrimiento de algunos alimentos. Estos proveen una buena barrera al oxígeno y al anhídrido carbónico, pero no así al agua; sin embargo, tales películas se convierten en suplementos nutricionales en el cubrimiento del alimento. (Cho, 2002)

Como modelo o muestra del uso de hidrocoloides en el cubrimiento de alimentos está el uso de cera para cubrir las frutas por inmersión; es uno de los métodos más antiguos, practicado desde principios del siglo XII (Krochta, et al., 1994 pág. 1344).

La finalidad de practicar este método en China, fue con el propósito de la transpiración en limones, naranjas; y en la actualidad su uso continúa en pimentones, manzanas, peras. La preservación de frutas frescas y secas se realiza con estas ceras y se practica desde tiempos inmemorables. (Tharanathan, 2002)

El método de bañar las frutas, los vegetales y los productos cárnicos, es el más común y las diferentes formulaciones están directamente relacionadas con el tipo de alimento. Los baños atacan el crecimiento de microorganismos sobre la superficie, mientras que la tierra y los desperdicios son eliminados con el propósito de mejorar el cubrimiento, la apariencia presentación del alimento (Pesis, 2005)

## **Colágeno/gelatina**

Tradicionalmente, la preparación de envolturas comestibles, son preparadas a base de películas de colágeno; este es el componente con mayor presencia en la piel, tejidos conectivos, tendones; y se encuentra distribuido a lo largo de las proteínas fibrosas de los animales.

La gelatina es el resultado de un proceso conocido como hidrólisis parcial del colágeno, produciendo una película gruesa y flexible; y las propiedades mecánicas de la misma, mejoran

cuando se hace uso de cloruro de sodio en bajas concentraciones. (Propiedades mecánicas de gellan y película compuesta de gelatina, 2004).

En la actualidad, gran parte de embutidos, son recubiertos con materiales derivados de la gelatina, o a su vez con la mezcla de materiales derivados de quitosán y gelatina. Usualmente, películas de un grosor aproximado de 2.5 mm, se fabrican por varios métodos y estas estructuras membranosas delgadas son utilizadas para cubrir los alimentos o como medio de separación, (Jansson, et al., 2004)

### **Origen bacterial**

La fermentación bacterial de la glucosa y la alimentación con ácido acético durante el almacenamiento da como resultado un novedoso poliéster termoplástico conocido como polihidroxibutirato (PHB), mismo, que únicamente combinado con plásticos sintéticos o con almidón, produce películas de calidad para empaque.

El PHB es un biopolímero termoplástico que facilita la acumulación de CO<sub>2</sub>, de tal forma que permite el control de atmósferas y el crecimiento y desarrollo de bacterias. Aunque tiene una desventaja, el alto costo de producción (Tharanathan, 2003).

Por otro lado, el PHA es otro biopolímero generado a partir de *Pseudomonas aeruginosa* que producen películas de calidad para empaques y a su vez permite el control del CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento de frutas y verduras (Fernandez, et al., 2005).

Otro producto es el polisacárido pululan que es secretado por el hongo *Aureobasidium pullulans*, mismo que es comercializado como hidrocoloide; entre sus características más destacables están su biodegradación, resistencia a los aceites y grasas, permeabilidad al oxígeno y no es tóxico. (Lazaridou, et al. 2003)

#### *2.2.3.5 Biopolímeros basados en almidón*

El almidón es el carbohidrato con mayor presencia en la naturaleza; se sintetiza durante el proceso de fotosíntesis y almacenado en los amiloplastos de las células vegetales.

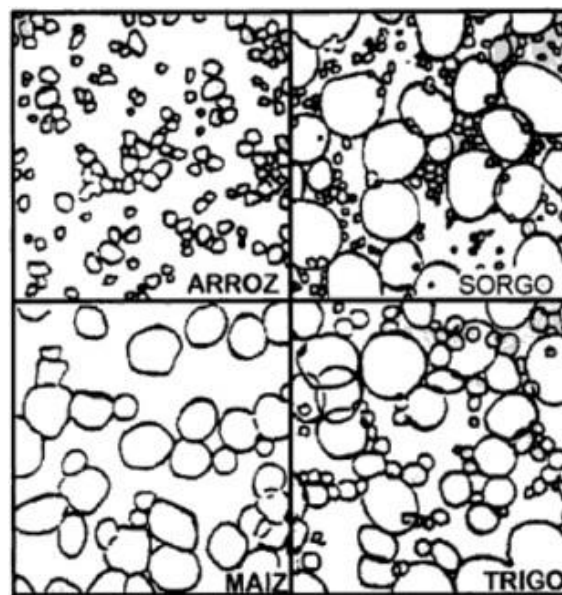
Los almidones de arveja, trigo, maíz, entre otros; se extraen por vía seca o húmeda.

El almidón es un polímero natural cuyos gránulos conforman estructuras macromoleculares, que están ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían dependiendo del tipo de fuente de la que se origine. (Meneses, et al., 2007).

Si su origen es vegetal, el almidón es el carbohidrato básico en la alimentación, presentándose en proporciones elevadas en cereales y derivados, leguminosas, tubérculos y en cantidades más pequeñas en otros vegetales.

Si su origen es animal, se denomina glucógeno, posee un tamaño molecular pequeño lo cual permite que su solubilidad en agua sea más fácil que el almidón. Se encuentra siempre en muy pequeña cantidad en alimentos, entre los que destacan el hígado y el marisco. (Hernández, et al., 1999 pág. 329)

Forma y tamaño de los gránulos de diferentes clases de almidón (Herrera, et al., 2010 pág. 7)



**Figura 6-2.** Forma y tamaño de los gránulos de diferentes clases de almidón

**Fuente:** (Herrera, et al., 2010 pág. 7)

**Tabla 3-2.** Forma y tamaño de los gránulos de diferentes clases de almidón

| Cereal | Intervalo (µm) | Medida (µm) |
|--------|----------------|-------------|
| Arroz  | 2 -10          | 5           |
| Maíz   | 5 – 25         | 15          |
| Sorgo  | 6 – 24         | 15          |
| Trigo  | 28 - 33        | 30          |

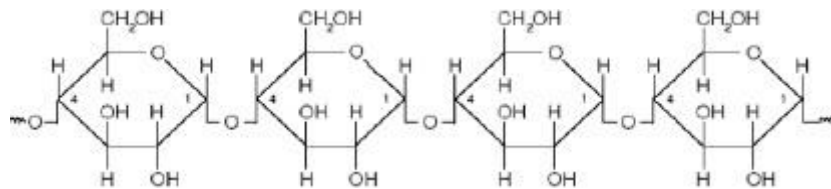
**Fuente:** (Herrera, et al., 2010 pág. 7)

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

## Composición del almidón

Los gránulos de almidón poseen diversas formas y tamaños, dependiendo siempre de la fuente biológica de donde se originen. La forma puede ser redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal.

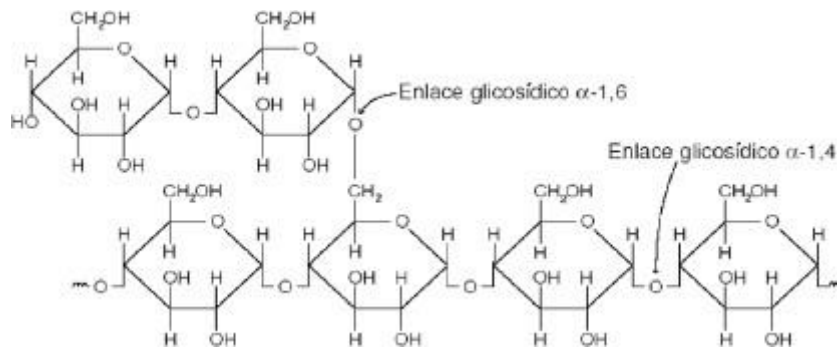
La composición de los gránulos de almidón, está dada por capas externas de amilopectina, que en términos porcentuales corresponde a un 75%, y capas internas de amilosa que porcentualmente corresponde al 25%. Su estructura química concierne a la de un polisacárido constituido únicamente por unidades glucosídicas; en otras palabras macromolécula que está formada por grandes cantidades de moléculas de glucosa que se repiten. (Whistler, et al., 1984).



**Figura 7-2.** Estructura de la molécula de amilosa

Fuente: (Textura y reología de alimentos 1995)

La amilopectina es generalmente el mayor componente y es altamente ramificada, formada por monómeros de glucosa ligados por enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. (Textura y reología de alimentos, 1995)



**Figura 8-2.** Estructura de la molécula de amilopectina

Fuente: (Textura y reología de alimentos, 1995)

## Propiedades del almidón

El almidón posee propiedades que determinan la forma en que debe tratarse, dependiendo el uso para el que se lo requiera.



## **Gelatinización**

Se la define como el proceso de pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón, debido a la presencia de altas cantidades de agua y calor, con poca o nula ocurrencia de despolimerización (FRITZ, et al., 1994 pág. 392)

A lo largo de este proceso, el orden molecular dentro de los gránulos se destruye gradual e irreversiblemente; es por esto que la temperatura de gelatinización es diferente para cada clase de almidón, y depende principalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa. (Comportamiento reológico de la pasta de almidón de sagú (Metroxylon sagu, 1991)

Aunque el origen de los gránulos de almidón sea de la misma fuente, la relación amilosa/amilopectina y grado de cristalinidad son diferentes; estos factores provocan que unos gránulos de almidón posean más resistencia a temperaturas más altas que otros. (Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador, 2015)

El proceso de gelatinización se propicia en un rango estrecho de temperaturas que cambia dependiendo de la fuente de origen del almidón. Tal es así, que el almidón llega a gelatinizarse en agua cuando alcanza temperaturas entre los 60 °C y 67 °C, lo que consiste en un incremento del tamaño de las moléculas de almidón debido a que el agua penetra en su estructura molecular (Meneses, et al., 2007).

Por efectos del proceso de gelatinización, se genera una disminución de la cristalinidad debido al desenrollado de las dobles hélices, esto se produce hasta llegar al punto de fraccionamiento de la estructura granular, la viscosidad de la mezcla está determinada por el grado de concentración y absorción de agua por parte del almidón.

Una vez que la gelatinización empieza su proceso, los gránulos hinchados de almidón ocupan los espacios vacíos. La viscosidad aumenta con la temperatura hasta la fragmentación de los gránulos, los cuales se desintegran y disuelven. (Meneses, et al., 2007).

## **Retrogradación**

El proceso de enfriamiento que se produce tras un calentamiento del almidón con agua, hace que la matriz previamente engrosada o gelatinizada se empiece a cristalizar, resulta ser muy rápido para la amilosa, pero muy lento para la amilopectina, de forma que durante este proceso el almidón se hace indigerible. (Rodríguez, et al., 2008 pág. 178)

Posteriormente a la gelatinización, en el momento en que deja de introducirse calor y la etapa de enfriamiento comienza, la viscosidad incrementa nuevamente y es ahí donde se presenta el

fenómeno conocido como retrogradación.

La retrogradación se define como el incremento espontáneo del estado del orden, dicho de otra forma, es una reorganización de los puentes de hidrógeno y redirección de las cadenas moleculares. Paralelamente se genera un decrecimiento de la solubilidad en el agua fría y un incremento de la turbiedad. (FRITZ, et al., 1994)

### **Transición vítrea**

La transición de un sólido rígido en un sólido que posee características de goma, corresponde a la temperatura de transición vítrea de los polímeros amorfos. (Callister, 2020 pág. 499)

La transición vítrea, se constituye como el cambio de temperatura de un polímero en estado rígido a otro estado blando y a su vez maleable; esto se presenta sólo en polímeros amorfos y es totalmente diferente para cada polímero; entonces la transición vítrea es una propiedad típica de la porción amorfa de un sólido semicristalino.

La temperatura de transición vítrea también se determina dependiendo de la estructura de los componentes, misma que interviene también en la capacidad de las cadenas moleculares para vibrar y rotar a medida que la temperatura aumenta. Probablemente la flexibilidad de las cadenas ejerce la mayor influencia. Cuanto menos flexible sea una cadena, la probabilidad de que experimente un movimiento de rotación cuando la temperatura aumenta es menor y, por tanto, el valor de Tg es mayor. Al introducir átomos voluminosos o grupos atómicos grandes, mismos que restrinjan el ciclo rotatorio molecular, la flexibilidad de las cadenas disminuye. (Callister, 2020 pág. 499)

### **Desestructuración**

Consiste en el cambio de los gránulos de almidón cristalino en una matriz de polímero amorfo homogénea, seguida, por un lado, por la destrucción de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón, y por otro lado por la parcial despolimerización de las moléculas. (Ruiz, 2006 pág. 10)

Este proceso de desestructuración se puede generar por la aplicación de energía al almidón. Los factores que intervienen en este proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, tasa de esfuerzo, contenido de agua, tiempo de residencia y cantidad de energía aplicada. (FRITZ, et al., 1994 pág. 392)

## **2.2.4 Componentes para la elaboración del biopolímero**

Para que la elaboración de un Bioplástico a base de almidón sea posible, es necesario la adición de determinados reactivos en la mezcla que aseguren las condiciones necesarias para su obtención.

Es por esta razón, que los bioplásticos demandan de componentes que aporten características de plasticidad, humectación, espesantes, resistencia, lubricación y desmoldantes.

### **2.2.4.1 Almidón**

Existen un sinnúmero de reportes referentes al uso de polímeros biodegradables como materiales industriales, entre éstos se encuentra el almidón, cuya capacidad de gelificar permite moldear y formar películas.

Para nuestro estudio, el material del que haremos uso proviene de la cáscara de trigo, y se puede encontrar en concentraciones que oscilan entre el 30 y el 70 % de la composición polimérica. (Tomka, 2000)

El almidón puede ser usado bien en su estado nativo o a su vez modificado. Algunos tipos de almidones modificados químicamente como el hidroxipropilado, tienen efectos positivos sobre las películas obtenidas a partir de éste, tales como incremento de la elongación y la resistencia al momento de ruptura, mayor índice de flexibilidad, y, disminución de la permeabilidad al vapor de agua. De acuerdo con, los almidones se diferencian entre sí por su contenido de amilosa y amilopectina dependiendo de la fuente de origen de la cual son extraídos. (García, et al., 2007)

### **2.2.4.2 Plastificante**

De acuerdo con la norma ASTM D883, “un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesamiento y mejorar su flexibilidad o distensibilidad”.

El plastificante generalmente es una sustancia líquida, cuya viscosidad es mayor a la del agua y que se adiciona a la mezcla con el objeto de mejorar la flexibilidad del material a través de la reducción considerable de fuerzas intermoleculares (Halley, et al., 2006).

La aplicación de plastificantes, produce una disminución de la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, cambiando de esa forma su comportamiento reológico, puesto que, al conseguir movilizar las moléculas, proveyendo de plasticidad al material, los plastificantes solubles en agua tales como el glicerol, son efectivos agentes suavizantes para los almidones, mejorando así la flexibilidad de las películas resultantes. Cuanto más involucrada se encuentra una sustancia plastificante en una matriz polimérica, incrementan la deformación

y elongación, en tanto que el esfuerzo de ruptura disminuye. (Chaléat, et al., 2008)

Los glicoles de peso molecular bajos o cadenas cortas son efectivos para plastificar mientras que los de cadenas largas o altos pesos moleculares fallan en dicha función.

#### *2.2.4.3 Agua destilada*

La composición química del agua destilada se traduce a dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Cuya molécula está representada químicamente por la fórmula H<sub>2</sub>O.

El agua destilada posee la propiedad de desintegración estructural del almidón, durante el proceso de preparación de la mezcla para producir un almidón termoplástico, el cual es empleado con la finalidad de obtener propiedades mecánicas, así como también de barrera óptima, tomando en cuenta que el agua es el plastificador más cuantioso aparte de ser económico.

#### *2.2.4.4 Agente desestructurante*

Según (Bastioli, 2013), los agentes desestructurantes se agregan única y exclusivamente al almidón, con la finalidad de desintegrar su estructura, mejorar su procesabilidad y su unión con otros polímeros. La presencia de agua en el almidón "desestructurado" limita la unión con otros polímeros para formar mezclas con características deseadas. De hecho, solamente la composición puede ser extruida o procesada a bajas temperaturas y presiones. De tal forma que se hace uso de un agente desestructurante pues esta sustancia obstaculiza los puentes de hidrógeno formados por la amilosa y la amilopectina, dando paso a que el porcentaje de agua empleado para procesar el material sea menor, así como la energía necesaria para el proceso.

#### *2.2.4.5 Glicerina*

Es una sustancia viscosa, no tóxica, carece de color, su sabor es dulce y su olor es característico, estructurada principalmente por alcohol, el cual dispone de tres grupos hidroxilos (OH) y cuya fórmula molecular es C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>; es soluble en agua, pero en efecto de hervor se deshace. Al igual que el agua destilada, el glicerol se considera también como un plastificador, éste también provee de humectación y suavidad al almidón. (MIRAFARMA, 2018)

#### *2.2.4.6 Vinagre*

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético elaborado por fermentación, a la que se le añaden extractos y sales de otras materias. Estas sustancias adicionales, de las que su naturaleza y cantidad exacta dependen del ingrediente utilizado, proporcionan al producto su cualidad distintiva. La base de producción del vinagre es el azúcar, por lo que cualquier solución diluida de un azúcar fermentable tiene la capacidad de convertirse en vinagre en condiciones

favorables. (La Vanguardia, 2020) En esencia, el vinagre es una solución diluida de ácido acético. El proceso de producción del vinagre se lleva a cabo a través de dos procedimientos bioquímicos distintos, ambos son el resultado de la acción de microorganismos. El primer proceso es ejecutado por la acción de fermentos que transforman el azúcar en alcohol y en el gas bióxido de carbono. Esta es la fermentación alcohólica. El segundo proceso es resultado de la acción de un amplio grupo de aceto-bacterias que tienen la capacidad de combinar el oxígeno con el alcohol, y transformar así ácido acético. Esta es la fermentación acética o acetificación.

#### *2.2.4.7 Modificador químico*

Según refiere (Peñaranda et al. 2008), el cambio químico que experimenta el almidón, va a fin con la reacción que sufre el grupo funcional hidroxilo del polímero en cuestión. De este modo las siguientes determinaciones como: la oxidación, la configuración de ésteres, la hidrólisis del grupo hidroxilo y la reacción vía éter, son ciertas transformaciones químicas acoplables al almidón. Por lo general la esterificación del polisacárido con el ácido orgánico es una de las modificaciones más veleidosa para de este biopolímero.

### **2.3 Planteamiento de la hipótesis**

#### *2.3.1 Hipótesis general*

Con el almidón de la cáscara de trigo se puede elaborar un biopolímero con características físicas, químicas, mecánicas y degradables

#### *2.3.2 Hipótesis específicas*

- Establecidas las características del almidón obtenido de cáscara de trigo (*Triticum aestivum* L.) se puede elaborar un biopolímero
- La elaboración de un biopolímero responde a la combinación de porcentajes adecuados de almidón de la cáscara de trigo.
- La planificación técnica permite el desarrollo de ensayos para elaborar un biopolímero.
- Comprobada las características del producto elaborado se convierte en alternativa de plástico degradable.

## **2.4 Identificaciones variables**

### **2.4.1 *Variable Independiente***

- Almidón de la cáscara de trigo (*Triticum aestivum L.*)

### **2.4.2 *Variables Dependientes***

- Elaboración de un biopolímero

## 2.5 Matriz de consistencia

Tabla 4-2. Matriz de consistencia

| PROBLEMA   | OBJETIVOS  | HIPÓTESIS   | VARIABLES  |
|--|--|---|--|
| <p><b>Problema general</b><br/>¿Utilizando el almidón obtenido a partir de la cascara de trigo, permite conseguir un biopolímero con características físico químicas funcionales que se apliquen a los plásticos?</p> <p><b>Problemas específicos</b><br/>Las características físicas, químicas, mecánicas y degradables del biopolímero obtenido.</p> | <p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Elaborar un biopolímero utilizando almidón de la cascara de trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>).</li> </ul> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Establecer las características del almidón obtenido de cascara de trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>) como materia prima para la elaboración de biopolímero.</li> <li>– Elaborar biopolímero con diferentes porcentajes de almidón de la cascara de trigo.</li> <li>– Identificar la concentración óptima del almidón y plastificante para la obtención del biopolímero.</li> <li>– Determinar las características físicas, químicas, mecánicas y degradables del biopolímero obtenido.</li> </ul> | <p><b>Hipótesis general</b><br/>La utilización de almidón de cascara de trigo en especificación técnicamente diseñada permite elaborar un biopolímero con características físicas, químicas, mecánicas y degradables del biopolímero obtenido.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Establecidas las características del almidón obtenido de cascara de trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>) se puede elaborar un biopolímero</li> <li>– La elaboración de un biopolímero responde a la combinación de porcentajes adecuados de almidón de la cascara de trigo.</li> <li>– La planificación técnica permite el desarrollo de ensayos para elaborar un biopolímero.</li> <li>– Comprobada las características del producto elaborado se convierte en alternativa de plástico degradable.</li> </ul> | <p><b>Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Almidón de la cascara de trigo (<i>triticum aestivum l.</i>)</li> </ul> <p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Granulometría</li> <li>– Humedad</li> <li>– Densidad aparente</li> <li>– Ceniza</li> <li>– Microbiológico</li> <li>– Solubilidad</li> <li>– Gelatinización</li> <li>– Viscosidad</li> <li>– pH</li> <li>– Sensibilidad</li> </ul> <p><b>Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Biopolímero que cumpla con las características físico, químicas, mecánicas y de biodegradabilidad</li> </ul> <p><b>INDICADORES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mecánicas</li> <li>– Biodegradabilidad</li> <li>– Humedad</li> <li>– Permeabilidad</li> <li>– Solubilidad</li> </ul> |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

## 2.6 Operacionalización de las variables

Tabla 5-2. Operacionalización de las variables.

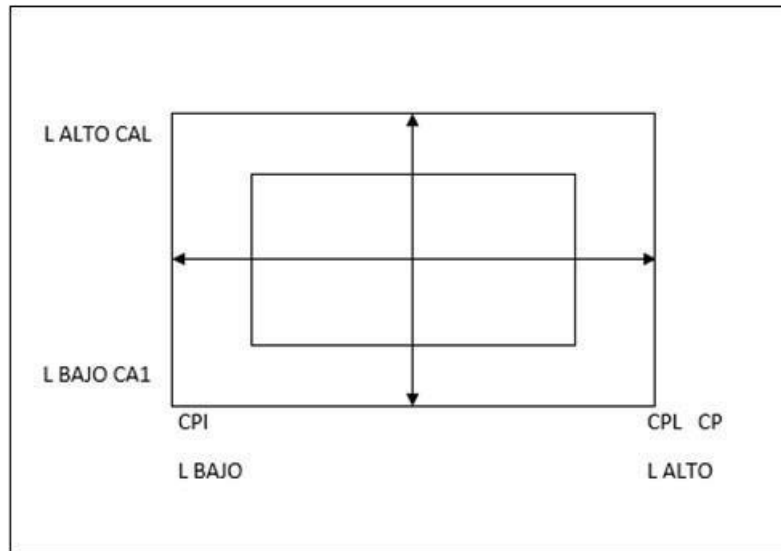
| VARIABLE   | CONCEPTOS   | DIMENSIONES                                    | SUBDIMENSIONES      | INDICADOR       | MÉTODO/TÉCNICA/<br>INSTRUMENTO          |
|--|---|--|---------------------|-----------------|---|
| <b>Variable independiente:</b><br>Almidón de la cáscara de trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> ) | El almidón de la cascara de trigo es el cereal más importante, es por lo tanto uno de los más estudiados. Se cultiva principalmente en Europa, Canadá y Estados Unidos. Se divide en tres categorías según su contenido en proteínas. (RAMÍREZ, 2007).      | Propiedades químicas del almidón               | - Granulometría     | µm              | Equipo Ro-tap con tapa y fondo          |
|  |   |  | - Humedad           | %               | Estufa                                  |
|  |   |  | - Densidad aparente | g/mL            | Probeta – Balanza analítica             |
|  |   |  | - Ceniza            | %               | Estufa                                  |
|  |   |  | - Microbiológico    | UFC/gr          |   |
|  |   |  | - Solubilidad       | %               | Vasos de precipitación                  |
|  |   |  | - Gelatinización    | °C              | Termómetro -                            |
|  |   |  | - Viscosidad        | mPas            | DV-1VISCOMETER, AGUJA SPL2              |
|  |   |  | - pH                | pH              | Thermo scientific                       |
|  |   |  | - Sensibilidad      |                 | Vasos de precipitación – Indicadores    |
| <b>Variable dependiente:</b><br>Elaboración de un biopolímero                                    | Los biopolímeros o polímeros naturales son aquellos producidos por los seres vivos. Existe una infinidad de polímeros naturales entre los cuales se puede destacar tres grandes grupos: Proteínas, Polisacáridos y Ácidos Nucleicos (CADENA & QUROZ, 2000). | Propiedades físicas del plástico biodegradable | - Mecánicas         |                 | Maquina Universal de ensayos (WAW 6008) |
|  |   |  | - Biodegradabilidad | cm <sup>2</sup> | ImageJ                                  |
|  |   |  | - Humedad           | %               |   |
|  |   |  | - Permeabilidad     | %               | Balanza Analítica                       |
|  |   |  | - Solubilidad       | %               | Vasos de precipitación - Estufa         |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



## 2.7 Tipo y diseño de investigación

La investigación se desarrolla con aplicación del “diseño factorial  $2^k$  tiene k factores cada uno a 2 niveles, cuyos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos”.



**Figura 9-2.** Esquema del diseño factorial  $2^k$

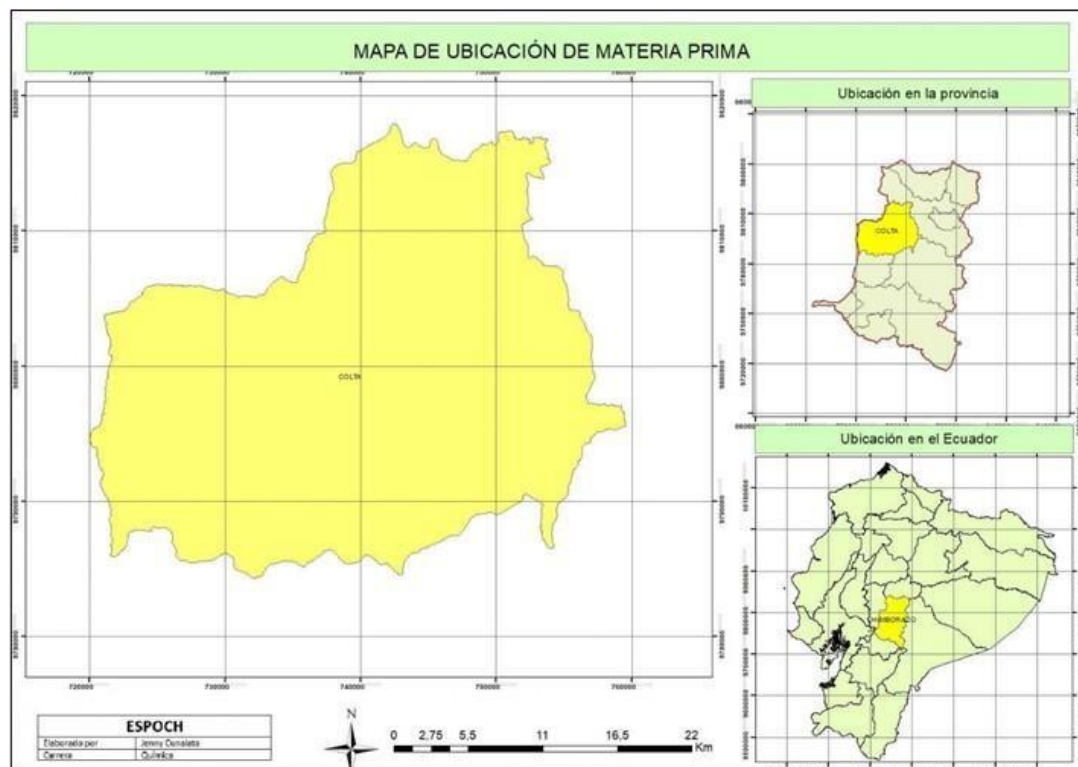
**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

## 2.8 Unidad de análisis

El almidón de la cáscara de trigo (*Triticum aestivum L.*) se trabaja con 4 tratamientos y 4 repeticiones, por lo tanto, existen 16 muestras, las mismas que son iguales a la población, de igual manera se trabaja el plástico con 4 tratamientos cada una con 4 repeticiones con un total de 16 muestras. La población y la muestra se consideran las mismas por ser muestras pequeñas.

## 2.9 Población de estudio

La adquisición de la materia prima (cáscara de trigo) para el presente estudio provendrá del cantón Colta, provincia Chimborazo y el estudio se realizará en el Laboratorio de Investigación (GIAD), de la Facultad de Ciencias (ESPOCH).



**Figura 10-2.** Población de estudio

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

## 2.10 Tamaño de la muestra

Se utiliza la extracción del almidón de la cáscara del trigo, mediante la vía húmeda descrita por la FAO, se toma datos de la muestra inicial para posteriormente determinar el rendimiento de este.

Para comprobar la hipótesis nula, se realiza el análisis ANOVA de los rendimientos obtenidos del almidón de la cáscara de trigo.

### 2.10.1 Selección de la muestra

La selección de la muestra, se realiza de la materia prima (cáscara de trigo) para el presente proveniente del cantón Colta, provincia Chimborazo.

## 2.11 Técnicas de recolección de los datos

### 2.11.1 Obtención del almidón

Para la obtención del almidón de la cáscara del trigo se utiliza el diseño factorial, que tiene como finalidad de diseñar la experimentación de modo que proporcione la

información buscada con el menor número de experimentos. En donde el 2 (representa el tiempo y las revoluciones por minuto RPM), k= es el número de repeticiones.

### 2.11.1.1 Técnica de extracción del almidón de la cáscara de trigo

Para la extracción del almidón se sigue el proceso descrito en el flujograma, la actividad inicial es la recepción y acondicionamiento de la materia prima, para el pesaje respectivo y el inicio de la extracción del almidón.

**Tabla 6-2.** Descripción del proceso

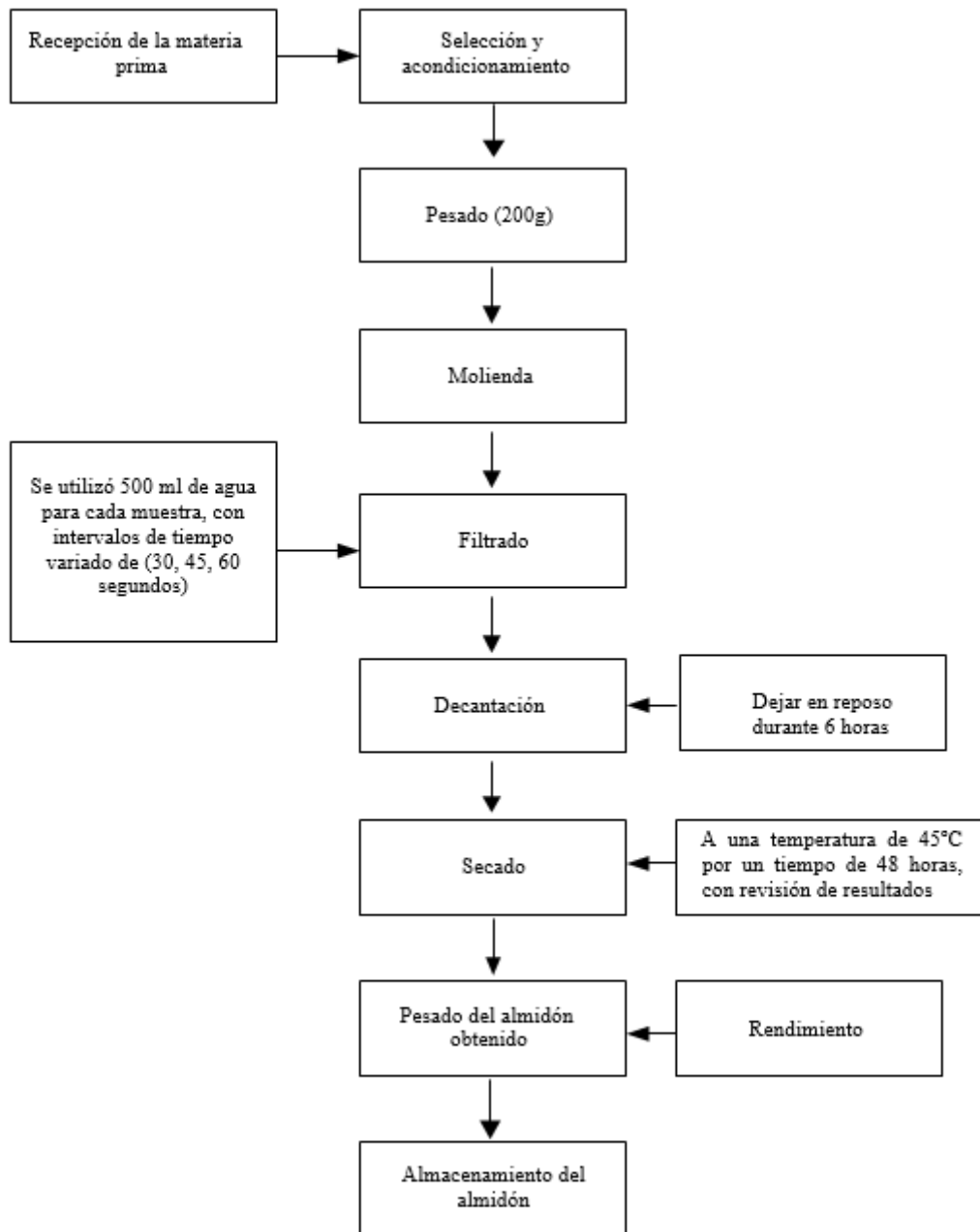
| <b>Materiales y Métodos</b>  | <b>Reactivo</b>                    | <b>Descripción del proceso</b>   | <b>Método de ensayo</b>  |
|--|------------------------------------|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Licuadora</li> <li>– Cuchillo</li> <li>– Balanza digital y analítica</li> <li>– Espátula</li> <li>– Cronómetro</li> <li>– Recipientes de plástico</li> <li>– Tela filtrante o colador</li> <li>– Papel aluminio</li> <li>– Guantes aislantes</li> <li>– Fundas ziploc</li> <li>– Mortero</li> </ul> | <p>Trigo</p> <p>Agua destilada</p> | <p>Recepción de la materia prima (Casará de trigo), producto que se obtiene en el proceso de molienda, siendo uno de los subproductos obtenidos en proceso de industrialización del trigo.</p> <p>Los compuestos bioactivos que contiene por cada 100 gramos de salvado es de 37,5 a 53,4 gramos; celulosa 6,5 a 9,9 el salvado se obtiene del primer proceso de descascarillado del trigo y el proceso de tamizado en el que se separa mediante ventiladores y tamices la harina.</p> <p>Para elaborar el polímero a base del almidón de la cascara de trigo se empieza por la selección y pesado de la materia prima, la misma que es sometida al proceso de molienda. Hasta obtener una harina fina.</p> <p>Molido: tras el secado las partículas de almidón se aglutinan por lo que es necesario realizar un proceso de molienda para separar dichas partículas hasta que cumpla con las</p> | <p>(Aristizábal y Sánchez, 2007, pp.49- 50)</p> <p>(Brito, 2020)</p> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | <p>características granulométricas deseadas que en este caso con una luz de malla de 38 micrones o un molino. (Brito, et al. 2019)</p> <p>Pesado: una vez que se obtuvo el almidón seco se procedió a pesar para obtener el rendimiento obtenido de la cáscara de trigo. (Brito, et al. 2019)</p> <p>Para obtener el polímero, es importante aportar reactivos a la mezcla y garantizar condiciones que permitan su obtención, requiriendo componentes que aporten humedad y plasticidad.</p> <p>Se empieza por añadir agua como alternativa plastificante, conjuntamente con la glicerina los dos elementos garantizan la plasticidad del producto.</p> <p>Para obtener el almidón se pesan 100 gramos de la harina obtenida y se agrega agua, para obtener una masa humectada, se deja reposar durante dos horas para su sedimentación y posterior proceso de decantación.</p> <p>El producto obtenido de la decantación se deja secar por 20 horas a una temperatura de 45°C, el producto obtenido es el almidón de la cáscara del trigo.</p> <p>El almidón obtenido es pesado de acuerdo al tratamiento, se diluye en agua destilada glicerina.</p> <p>La mezcla obtenida se calienta a baño maría</p> |  |
|--|--|--|--|

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | <p>a una temperatura entre 65 - 70°C durante 45 minutos a 1 hora, con una supervisión contante y agitación del contenido.</p> <p>La mezcla sometida a calor produce en los gránulos un proceso de cambio físico</p> <p>Filtración: en esta etapa se separa el almidón de la celulosa usando un equipo filtrante, después de esto se conserva todo el sobrenadante y se desecha los residuos que se generan. (Brito, et al. 2019)</p> <p>Sedimentación o deshidratación: se realiza por medio de sedimentación o centrifugación, para separar los gránulos de almidón de su suspensión en agua, y</p> <p>Secado: puede ser realizado dependiendo del nivel tecnológico por secado solar o artificial. En ambos casos, se busca remover la humedad del almidón hasta un 12- 13 %.</p> <p>Secado: para eliminar el agua retenida en el almidón se procedió a secar durante 3-6 horas a temperatura ambiente. (Brito, et al. 2019)</p> <p>Envasado: el llenado que se realiza es de tipo manual a temperatura ambiente, logrando que el envase alcance la totalidad de llenado, se utiliza fundas ziploc los que no permitirán el ingreso de humedad en el empaque por su cierre hermético. (Brito, et al. 2019)</p> |  |
|--|--|--|--|

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

2.11.1.2 Diagrama para la obtención del almidón de la cáscara de trigo



**Figura 11-2.** Diagrama para la obtención del almidón de la cáscara de trigo

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 2.11.1.3 Técnica para realizar la caracterización físico químico del almidón

**Tabla 7-2.** Técnica de ensayos físico químico para el almidón de trigo

| N°   | ENSAYOS  |
|--|--|
| 1  | <b>DENSIDAD APARENTE</b>   |
|  | <b>Materiales y equipos</b>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Balanza analítica con una precisión de 0.01 g</li> <li>– Probeta graduada de 25 mL</li> <li>– Embudo</li> <li>– Espátula</li> <li>– Equipo de vibración de base de madera</li> </ul>  |
|  | <b>Procedimiento</b>   |
|  | <p><b>Densidad aparente del almidón suelto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar la probeta graduada vacía</li> <li>– Adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 25 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado.</li> </ul>   |
|  | <p><b>Densidad aparente del almidón empacado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sostener la probeta con la muestra de almidón en un vibrador y adicionar almidón hasta que el volumen ocupado sea el valor mínimo</li> <li>– Realizar la vibración durante cinco minutos a una frecuencia y amplitud de manera tal que la probeta vibre rítmicamente con la base de madera</li> <li>– Medir el volumen de muestra empacada.</li> </ul> |
|  | <b>Fórmula para el Cálculo</b>   |
| <p>Para encontrar la densidad aparente se realizaron mediante tres réplicas, con la siguiente fórmula</p> $Densidad\ aparente\ del\ almidón\ suelto = \left( \frac{g}{mL} \right)$ $= \frac{[(peso\ probeta + almidón\ empacado)(g)] - peso\ probeta\ vacía\ (g)}{volúmen\ de\ la\ probeta}$ |  |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | <p><b>Ecuación 1-1:</b> Densidad aparente del almidón suelto</p> <p><i>Densidad aparente del almidón suelto</i></p> $= \frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón empacado})(g)] - \text{peso probeta vacía (g)}}{\text{volumen de la probeta}}$   |
|                 | <p><b>Ecuación 2-2:</b> Densidad aparente del almidón empacado</p>  |
|                 | <p><b>Valores de referencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El almidón debe tener una densidad promedio de 1,560 g/mL.</li> </ul>  |
|                 | <p><b>Método de ensayo</b></p>  |
|                 | <p>Técnica usada (Smith, 1967)</p> <p>Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO, 2007)</p>  |
| <p><b>2</b></p> | <p><b>METODO PARA DETERMINAR SOLUBILIDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica.</li> <li>- Vaso de precipitación de 25 y 200 cm<sup>3</sup>.</li> <li>- Agitador de vidrio.</li> <li>- Calentador de placa.</li> <li>- Probeta graduada de 100 cm<sup>3</sup>.</li> <li>- Equipo de vibración de base de madera</li> </ul> <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En un vaso de precipitación de 25 mL, pesar 2g de muestra, añadir 5mL de agua fría y agitar.</li> <li>- Transferir totalmente la suspensión sobre 100 mL de agua hirviendo contenida en un vaso de precipitación de 200mL, continuar la ebullición por aproximadamente 2 min.</li> <li>- Guardar la solución para determinación de pH.</li> </ul> <p><b>Fórmula para el Cálculo</b></p> <p>Medición Cualitativa</p> <p><b>Valores de referencia</b></p> <p>Considerar que la muestra en examen cumple con el requisito cuando se observa sólo ligera opalescencia que se mantiene sin intensificar después de enfriamiento de la solución.</p> |



|          |  |
|----------|--|
|          | <b>Método de Ensayo</b>  |
|          | NTE INEN 1456:1986 REACTIVOS PARA ANÁLISIS. ALMIDÓN SOLUBLE (PARA IODOMETRÍA). METODOS DE ENSAYO (INEN , 1986)   |
| <b>3</b> | <b>PH</b>  |
|          | <b>Materiales y Equipos</b>  |
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Viscosímetro Brookfield RVDV-E (rango RV)</li> <li>– Vaso de precipitados, 1000 mL</li> <li>– Escala de laboratorio</li> <li>– Agitador con agitador de paletas</li> <li>– Baño de agua hirviendo y tapa con ranura para agitador de paletas</li> </ul>   |
|          | <b>Reactivos</b>   |
|          | Solución tampón 0.05 molar de fosfato pH 7.0   |
|          | <b>Procedimiento</b>   |
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar la muestra de almidón equivalente a 5g, de sustancia seca, en un vaso de precipitados y añadir agua destilada 25mL (agua hervida con anterioridad para eliminar el CO<sub>2</sub>)</li> <li>– Normalizar el pH a 25°C sumergiendo los electrodos en solución tampón pH 7,0 y ajustar el control a la temperatura.</li> <li>– Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor del pH correcto de la solución tampón.</li> <li>– Con el control correspondiente retornar el equipo a su posición de reposo.</li> <li>– Lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel absorbente.</li> <li>– La solución debe alcanzar una temperatura de 25°C, en la cual se sumergen los electrodos, accionar el control y realizar la lectura del pH, marcado.</li> </ul> |
|          | <b>Fórmula para el Cálculo</b>   |
|          | Para encontrar el pH se realizaron mediante 3 replicas   |
|          | Medición directa   |
|          | <b>Valores de referencia</b>   |
|          | – Considerar que la muestra cumple con el requisito si el pH obtenido se encuentra entre 5,0 y 7,0.  |
|          | <b>Método de Ensayo</b>  |

|  |   |
|--|---|
|  | NTE INEN 1456:1986 REACTIVOS PARA ANÁLISIS. ALMIDÓN SOLUBLE (PARA IODOMETRÍA). METODOS DE ENSAYO (INEN , 1986)  |
| 4  | <b>CONTENIDO DE CENIZA</b>  |
|  | <b>Materiales y Equipos</b>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Balanza analítica con una precisión de 0,01g</li> <li>– Crisoles de porcelana</li> <li>– Desecador</li> <li>– Mufla</li> </ul>   |
|  | <b>Procedimiento</b>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar aproximadamente 5,0 g aproximadamente de almidón en un crisol de porcelana que ha sido previamente lavado, secado en un horno y pesado.</li> <li>– Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a 550 °C durante tres horas y media.</li> <li>– Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador hasta tener peso constante.</li> <li>– Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas.</li> <li>– Expresar los resultados como porcentaje de cenizas totales.</li> </ul> |
|  | <b>Fórmula para el Cálculo</b>  |
|  | <p>Para encontrar el contenido de ceniza se realizaron mediante 3 replicas</p> $\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de las cenizas} = \text{Peso ceniza} - \text{peso crisol vacío}}{\text{peso de muestra}} \times 100$   |
|  | <b>Ecuación 3-2: Contenido de cenizas</b>   |
| <b>Valores de referencia</b>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– En general, el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12%.</li> <li>– Método de Ensayo</li> <li>– Técnica usada (AOAC, 2000)</li> <li>– Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO.2007)</li> </ul> |   |
| 5  | <b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA</b>  |
|  | <b>Materiales y Equipos</b>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>– Crisoles de cerámica</li> <li>– Homo con temperatura constante y ventilación forzada</li> <li>– Desecador con un agente de secado</li> </ul>  |

|          |  |
|----------|--|
|          | <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar los crisoles vacíos, limpios y enfriarlos en un desecador, después de secar durante cinco horas en un horno a 80 °C (P1).</li> <li>– Agregar al crisol vacío 5g de la muestra de almidón (P2).</li> <li>– Colocar el crisol con la muestra de almidón en un horno a 80 °C durante 24 horas.</li> <li>– Enfriar los crisoles con el almidón seco en un desecador hasta obtener peso constante (30-45 minutos) (P3).</li> <li>– Pesar los crisoles con la muestra de almidón seca.</li> </ul> |
|          | <p><b>Fórmula para el Cálculo</b></p> <p>Para encontrar la densidad aparente se realizaron mediante 3 réplicas:</p> $(\%)humedad = \frac{(P3 - P1) \times 100}{(P1 - P2)}$ $\% materia\ seca = 100 - (\% humedad)$ <p><b>Ecuación 4-2:</b> Contenido de materia seca</p>   |
|          | <p><b>Donde:</b></p> <p><b>P1:</b> Pesar los crisoles vacíos, limpios y enfriarlos en un desecador, después de secar durante cinco horas en un horno</p> <p><b>P2:</b> Agregar en el crisol vacío entre 5g de la muestra de almidón</p> <p><b>P3:</b> Enfriar los crisoles con el almidón seco en un desecador hasta obtener peso constante (30-45 minutos)</p>  |
|          | <p><b>Valores de referencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– El contenido de humedad de los almidones estará en el 12%</li> <li>– El contenido de materia seca de los almidones debe estar entre 87-90%.</li> </ul>  |
|          | <p><b>Método de Ensayo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Técnica usada (ICONTEC, 2002)</li> <li>– Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO.2007)</li> </ul>  |
| <b>6</b> | <p><b>TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN</b></p> <p><b>Materiales y Equipos</b></p>   |

|          |  |
|----------|--|
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Balanza analítica con una precisión de 0,01 g.</li> <li>– Plancha de calentamiento</li> <li>– Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL</li> <li>– Frascos volumétricos de 100 mL</li> <li>– Pinzas de acero inoxidable</li> <li>– Termómetro con escala de 0-100 °C</li> </ul>  |
|          | <b>Procedimiento</b>   |
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar 10 g de almidón, disolver en agua destilada y completar a 100 mL</li> <li>– Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.</li> <li>– Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL</li> <li>– Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.</li> <li>– Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.</li> <li>– Leer la temperatura de gelatinización.</li> </ul> |
|          | <b>Fórmula para el Cálculo</b>   |
|          | Para encontrar la temperatura de gelatinización se realizaron mediante 3 réplicas<br>Cálculo directo   |
|          | <b>Valores de referencia</b>   |
|          | El valor de la temperatura de la Gelatinización en almidones de yuca varía entre 57,5 – 70 °C  |
|          | <b>Método de Ensayo</b>  |
|          | Técnica usada (Gracc, 1977)<br>Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO.2007)   |
| <b>7</b> | <b>DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL GRANULO</b>   |
|          | <b>Materiales y Equipos</b>  |
|          | Balanza<br>Equipo Ro-tap con tapa y fondo  |
|          | <b>Procedimiento</b>   |
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar cada tamiz y el fondo, vacíos y limpios.</li> <li>– Pesar 100g de la muestra de almidón y transferir al tamiz de la parte superior del grupo de tamices.</li> </ul>   |

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Agitar el grupo de tamices hasta que la cantidad de almidón que pasa a través de la parte superior del grupo de tamices sea insignificante (aproximadamente 10 minutos).</li> <li>– Remover el tamiz de la parte superior y agitar hasta que la cantidad de almidón a través del siguiente tamiz sea insignificante.</li> <li>– Continuar de igual forma con los otros tamices hasta que todos sean removidos.</li> <li>– Pesarse cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón.</li> <li>–</li> </ul> |
| <b>Fórmula para el Cálculo</b>   |
| $\text{Peso neto individual} = (\text{peso tamiz} + \text{fracción de almidón}) - (\text{peso tamiz vacío})$   |
| <b>Ecuación 5-2: Porcentaje del tamaño de granulo</b>  |
| $\text{Gran total} = \Sigma \text{ pesos netos individuales}$ <p>Registrar cada fracción de almidón como porcentaje del gran total, caracterizado por el ancho de la malla en micrómetros.</p>   |
| <b>Valores de referencia</b>   |
| El 99% de los gránulos de almidón deben pasar a través de un tamiz de malla 100 o el 95 por ciento pasar a través de un tamiz de malla (180 μm).   |
| <b>Método de Ensayo</b>  |
| Técnica usada (ISI. 1999)  |
| Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO.2007)  |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

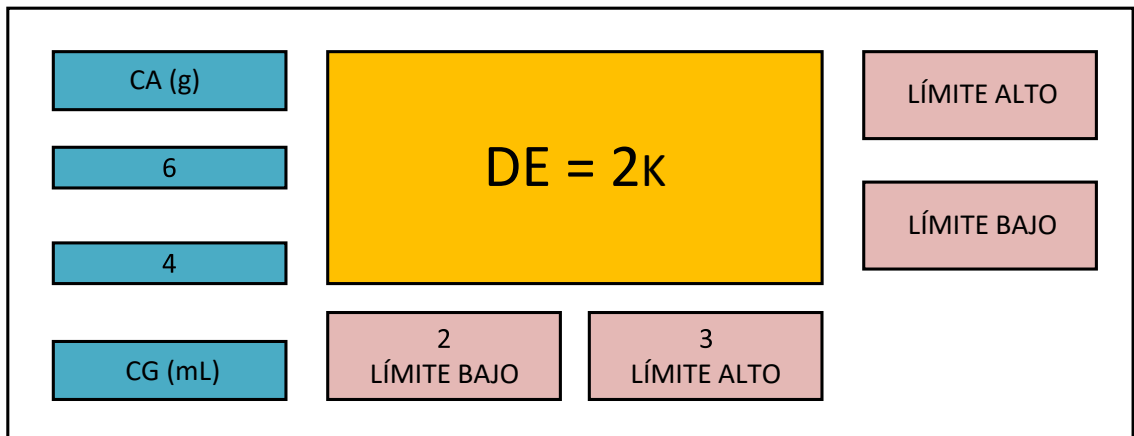
## 2.12 Técnica de obtención del bioplástico

### 2.12.1 Diseño factorial $2^k$

La concentración de almidón de la cáscara de trigo se determinó, mediante el análisis factorial  $2^k$ , donde: 2 = (Concentración almidón y plastificante) y k = Número de repeticiones; dándonos así  $2^k = (2 \cdot 2) \cdot 4 = 16$  pruebas con 4 tratamientos que se muestran en la tabla.

También se tomará en cuenta aspectos cualitativos, por ejemplo: formación de la biopelícula, la uniformidad de la biopelícula una vez esparcida en las cajas petri, la transparencia luego del

proceso de secado y la estabilidad de esta.



**Figura 12-2.** Diseño factorial 2k

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Se realizó una tabla de resultados obtenido del diseño factorial  $2^k$  para las concentraciones de almidón y plastificante (glicerina) que se aplicará para la obtención del bioplástico, esto lo observamos en la Tabla 8-2.

**Tabla 8-2.** Tabla de datos obtenido del diseño factorial 2k

| No. | TRATAMIENTO | VARIABLE  | REPETICIÓN |
|-----|-------------|-----------|------------|
| 1   | TP1         | CA1 : CP1 | R1         |
| 2   |             |           | R2         |
| 3   |             |           | R3         |
| 4   |             |           | R4         |
| 5   | TP2         | CA1 : CP2 | R1         |
| 6   |             |           | R2         |
| 7   |             |           | R3         |
| 8   |             |           | R4         |
| 9   | TP3         | CA2 : CP1 | R1         |
| 10  |             |           | R2         |
| 11  |             |           | R3         |
| 12  |             |           | R4         |
| 13  | TP3         | CA2 : CP1 | R1         |
| 14  |             |           | R2         |

|    |     |           |    |
|----|-----|-----------|----|
| 15 | TP4 | CA2 : CP2 | R3 |
| 16 |     |           | R4 |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

En la Tabla 9-2. Se describe las variables y las constantes obtenidas mediante el diseño factorial  $2^k$  para la elaboración del biopolímero.

**Tabla 9-2.** Variables y constantes para la elaboración del bioplástico

| VARIABLES % (P/P) |           | CONSTANTES % (P/P) |      |            |                  |
|-------------------|-----------|--------------------|------|------------|------------------|
| Almidón           | Glicerina | Vinagre            | Agua | Tiempo (h) | Temperatura (°C) |
| 4                 | 2         | 5                  | 80   | 72         | Ambiente         |
| 6                 | 3         | 5                  | 80   | 72         | Ambiente         |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 2.12.2 Obtención del biopolímero de la cáscara de trigo

**Tabla 10-2.** Proceso para la elaboración del bioplástico de cáscara de trigo

| Nº | OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO   |
|----|---|
| 1  | <b>Materiales y Equipos</b>   |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Balanza analítica con una precisión de 0,01 g.</li> <li>– Probeta graduada de 5mL, 10mL, 100mL</li> <li>– Espátula</li> <li>– Agitador-Calentador</li> <li>– Estufa</li> <li>– Vasos de precipitación de 250 mL</li> <li>– Varilla de agitación</li> <li>– Cajas petri o Moldes de vidrio</li> </ul> |
| 2  | <b>Reactivos</b>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Agua destilada</li> <li>– Glicerina</li> <li>– Ácido Acético</li> <li>– Almidón de cáscara de trigo</li> <li>–</li> </ul>  |
| 3  | <b>Procedimiento Tratamiento</b>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesar 10 g de almidón en un vaso de precipitación de 250mL</li> <li>– Adicionar 100 mL de agua destilada.</li> </ul>   |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Seguido de esto adicionar el plastificante (glicerina 5mL)</li> <li>– Adicionar 5mL de ácido vinagre, mezclar la muestra y agitar durante 3 minutos.</li> <li>– Colocar la muestra en el agitador-calentador, la agitación debe de ser de 500-1000 rpm hasta temperatura de gelatinización del almidón.</li> <li>– Una vez llegada a la temperatura de gelatinización, verter la muestra en los moldes o cajas petri.</li> <li>– Llevar la muestra a la estufa a una temperatura de ambiente, durante 24 horas, retirado el bioplástico de la estufa dejar reposar 24 horas al ambiente.</li> </ul> |
|--|--|

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 2.12.3 Técnicas para la caracterización de las biopelículas

**Tabla 11-2.** Caracterización de las biopelículas

| Nº       | HUMEDAD   |
|----------|---|
| <b>1</b> | <b>Procedimiento</b>  |
|          | La humedad se determinó gravimétricamente pesando las películas secadas al ambiente y posteriormente colocándolas en la estufa con circulación de aire a 105 °C durante 24 h. Se realizaron tres ensayos por cada muestra.  |
|          | Forma de cálculo<br>$\%Humedad = \frac{\text{Peso inicial de la película} - \text{peso final de la película}}{\text{peso final de la película}} \times 100$ Ecuación 6-2: Porcentaje de humedad del bioplástico   |
|          | <b>Método de ensayo</b><br>Este ensayo fue basado en el artículo de la revista del laboratorio tecnológico del Uruguay. (Escobar, Sala, Silvera, Harispe, & Márquez, 2009, pág. 34)   |
| <b>2</b> | <b>SOLUBILIDAD EN EL AGUA</b>   |
|          | <b>Procedimiento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Las películas secas se colocaron en 80 mL de agua desionizada con una agitación de 100 rpm durante una hora</li> <li>– Posteriormente se filtró y se colocó en la estufa a 40 °C hasta que esté seca.</li> <li>– Luego a 105 °C hasta que tenga un peso constante. Se realizaron ensayos por duplicado de cada tipo de película.</li> </ul> |
|          | <b>Forma de cálculo</b>   |



$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso final seco}} \times 100$$

Ecuación 7-2: Porcentaje de solubilidad en el agua del bioplástico

**Método de ensayo**

Este ensayo fue basado en el artículo: Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. (Palma, Salgado, & Páramo, 2016, pág. 28),

3 **TRANSMISIÓN DE VAPOR DE AGUA**

**Procedimiento**

- Se empleó el método desecante, el cual utiliza sílica gel previamente activada a 200°C por 24 horas.
- Posterior a ello, se llenaron los tubos de ensayo de 10cm de altura y 16mm de diámetro, dejando este espacio libre para mezclar delicadamente la sílica gel durante cada pesado. Las películas se cortaron en cuadrados de 2.5 cm<sup>2</sup> para cada muestra, luego se colocaron en la boca del tubo de ensayo sellándolos herméticamente y un pedazo de cinta scotch. Colocar o guardar en una gradilla.
- Una vez sellados los tubos, fueron pesados y luego colocados en un desecador equilibrado con un ambiente de una HR 60 - 65% que se obtuvo colocando una solución saturada de Cloruro de sodio (NaCl) y una temperatura de 26 - 29°C. Se esperó 1 hora hasta que las muestras lleguen al equilibrio.

Las muestras fueron pesadas el primer día cada hora, durante 6 horas consecutivas.

Forma de cálculo

Ecuación 8-2: Ecuación de la tasa de transmisión de vapor expresada en (g/h\* m<sup>2</sup>).

$$WVTR = \frac{\left(\frac{Q}{t}\right)}{A}$$

Donde:

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| Q =    | Peso ganado del desecante en gramos  |
| WVTR = | Tasa de Transmisión de vapor de agua |
| t =    | Tiempo de la prueba en horas         |
| A =    | Área total del bioplástico           |

Ecuación 9-2. Transmisión de vapor de agua

$$WVP = \frac{WVTR \times e}{\Delta p}$$

$$\Delta p = s'(HR_2 - HR_1)$$

Donde:

|        |   |
|--------|---|
| WVP =  | es la permeabilidad al vapor de agua en (g*h -l * m -l* MPa - l).               |
| WVTR = | es la pendiente de la curva (g h) sobre el área expuesta de la lámina (gh * m). |
| s' =   | es la presión de vapor de agua a la temperatura del ensayo (MPa)<br>T= 20°C.    |
| A =    | es la humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada   |
| HR2 =  | 75%   |
| HR1    | es la humedad relativa en el interior de la celda (HR1= 0%).                    |
| e =    | espesor (m)   |

**Método de ensayo**

ASTNDI 653-93: Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico.

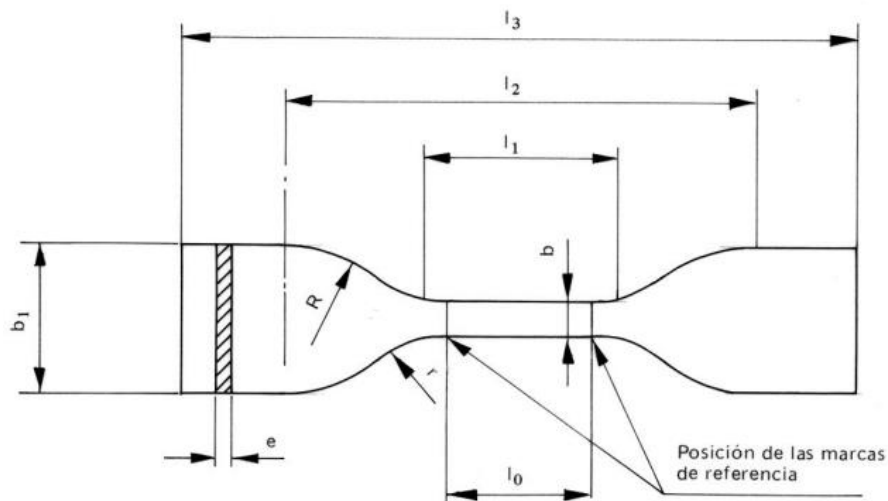
**4 ENSAYO DE TRACCION**

**Método de ensayo**

IEN 2635:2012 Método de Ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. (INEN, 2013, pág. 4)

- Esta norma INEN es la versión oficial en español para el Ecuador de la norma ASTM D882-10
- El ensayo consiste en deformar la probeta a lo largo de su eje mayor, a velocidad constante aplicando una fuerza determinada hasta que la probeta se rompa o hasta que la carga o el alargamiento alcance un valor previamente elegido. (INEN.2013. p.3)

Para este ensayo se ocupó una probeta tipo A



- $l_3$  = Longitud total mínima 115
- $b_1$  = Anchura en los extremos  $25 \pm 1$
- $l_1$  = Longitud de la parte calibrada  $33 \pm 2$
- $b$  = Anchura de la parte calibrada  $6 \pm 0,4$
- $r$  = Radio menor  $14 \pm 1$
- $R$  = Radio mayor  $25 \pm 2$
- $l_0$  = Longitud de referencia  $25 \pm 0,25$
- $l_2$  = Distancia inicial entre mordazas  $80 \pm 5$
- $e$  = Espesor: mínimo véase apartado 2.1.7  
máximo = 3  
preferido = 2

|            |  |
|------------|--|
| <b>5</b>   | <b>BIODEGRADABILIDAD</b>   |
| <b>5.1</b> | <p><b>SUELO</b></p> <p><b>Procedimiento</b></p> <p>La degradación del bioplástico se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por (López et al., 2010). modificada. Los bioplásticos se cortaron en forma rectangular de 6 X 5 cm. Se tomaron fotos para la cuantificación del área mediante el programa Image J y luego se enterraron las muestras a 15 cm de profundidad en una calicata de 50 x 25cm, ubicada contiguo al laboratorio GIADE de la Facultad de Ciencias ESPOCH.</p> <p>El análisis de la composición del suelo: humedad. pH. materia orgánica, textura y relación carbono nitrógeno, fueron determinadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias ESPOCH.</p> |

|            |   |
|------------|---|
|            |   |
|            | <b>Método de ensayo</b>   |
|            | Durante 60 días, se monitorea y observan los cambios que se produce en cada muestra por tratamiento; la observación y análisis se realizó cada tres días, se anota la variación de tamaño y se porcentua el cambio operado por acción del suelo en la muestra extraída. Además, se mantiene un registro fotográfico que respalda la investigación.  |
|            | Este ensayo se realizó en función de un trabajo de investigación. (López, Rivas, Johan, Loaiza, & Sabino, 2010)   |
| <b>5.2</b> | <b>AMBIENTE</b>   |
|            | <b>Procedimiento</b>  |
|            | La degradación del bioplástico se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por (López et al., 2010). modificada. Los bioplásticos se cortaron en forma rectangular de 3 X 3 cm. Se tomaron fotos para la cuantificación del área mediante el programa Image J y luego se ubican en la parte exterior de la vivienda, para realizar un monitoreo y control de los cambios producidos en el bioplástico. |
|            | <b>Método de ensayo</b>   |
|            | Durante 45 días, se monitorea y observan los cambios que se produce en cada muestra por tratamiento; la observación y análisis se realizó cada tres días, se anota la variación de tamaño y se porcentua el cambio operado por acción del suelo en la muestra extraída. Además, se mantiene un registro fotográfico que respalda la investigación.  |
|            | Este ensayo se realizó en función de un trabajo de investigación. (López, Rivas, Johan, Loaiza, & Sabino, 2010)   |
| <b>5.3</b> | <b>AGUA</b>   |
|            | <b>Procedimiento</b>  |
|            | La degradación del bioplástico se determinó de acuerdo a la metodología propuesta   |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>por (López et al., 2010). modificada. Los bioplásticos se cortaron en forma rectangular de 3 X 3 cm. Se tomaron fotos para la cuantificación del área mediante el programa Image J y luego se ubican en envases de cristal transparente; se utilizó un litro de agua en el que se coloca el bioplástico. La observación y control se realiza acorde a la tabla planteada.</p> |
|  | <p><b>Método de ensayo</b></p>   |
|  | <p>Durante 240 días, se monitorea y observan los cambios que se produce en cada muestra por tratamiento; la observación y análisis se realizó conforme a la tabla; se mide y registra fotográficamente la muestra.</p>   |
|  | <p>Este ensayo se realizó en función de un trabajo de investigación. (López, Rivas, Johan, Loaiza, &amp; Sabino, 2010)</p>   |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### CAPÍTULO III

## 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Datos obtenidos de los ensayos físico químicos de la cascara de trigo

**Tabla 1-3.** Análisis cuantitativo de la cascara de trigo

| N°              | CASCARA DE TRIGO |               |               |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|
|                 | PESO (g)         | LONGITUD (cm) | DIÁMETRO (cm) |
| 1               | 0,057            | 6,10          | 3,90          |
| 2               | 0,041            | 6,90          | 3,00          |
| 3               | 0,039            | 6,10          | 3,00          |
| 4               | 0,046            | 6,50          | 3,00          |
| 5               | 0,048            | 7,50          | 2,00          |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>0,046</b>     | <b>6,62</b>   | <b>2,98</b>   |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 2-3.** Análisis sensorial de la cascara de trigo

| No. | CASCARA DEL TRIGO |         |
|-----|-------------------|---------|
|     | Característica    |         |
| 1   | Olor              | Inoloro |
| 2   | Sabor             | Amargo  |
| 3   | Color             | Dorado  |
| 4   | Textura interna   | Rugosa  |
| 5   | Textura externa   | Suave   |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.1.1 Rendimientos obtenidos del almidón

**Tabla 3-3.** Variables para la obtención del almidón de la cáscara de trigo

| <b>VARIABLES</b>               | <b>NIVEL 1</b> | <b>NIVEL 2</b> |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| RPM (Revoluciones por minutos) | 1              | 2              |
| Tiempo (s)                     | 45             | 60             |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 4-3.** Variables para la obtención del almidón de la cáscara de trigo

| No. | TRATAMIENTO | VARIABLES  | REPETICIÓN | VOLUMEN AGUA (mL) | PESO (g) |         |          | RENDIMIENTO (%) |          | TIEMPO SECADO (H) |       |
|-----|-------------|------------|------------|-------------------|----------|---------|----------|-----------------|----------|-------------------|-------|
|     |             |            |            |                   | PRODUCTO | ALMIDÓN |          | R               | PROMEDIO |                   |       |
|     |             |            |            |                   |          | R       | PROMEDIO |                 |          |                   | TOTAL |
| 1   | T1          | RPM 1 : 45 | R1         | 500               | 200      | 30,05   | 30,64    | 122,55          | 15,025   | 15,32             | 48    |
| 2   |             |            | R2         |                   |          | 29,13   |          |                 | 14,565   |                   |       |
| 3   |             |            | R3         |                   |          | 32,21   |          |                 | 16,105   |                   |       |
| 4   |             |            | R4         |                   |          | 31,16   |          |                 | 15,58    |                   |       |
| 5   | T2          | RPM 1 : 60 | R1         |                   |          | 31,68   | 32,83    | 131,3           | 15,84    | 16,41             | 48    |
| 6   |             |            | R2         |                   |          | 32,7    |          |                 | 16,35    |                   |       |
| 7   |             |            | R3         |                   |          | 31,5    |          |                 | 15,75    |                   |       |
| 8   |             |            | R4         |                   |          | 35,42   |          |                 | 17,71    |                   |       |
| 9   | T3          | RPM 2 : 45 | R1         |                   |          | 32,3    | 34,70    | 138,8           | 16,15    | 17,35             | 48    |
| 10  |             |            | R2         |                   |          | 42,2    |          |                 | 21,1     |                   |       |
| 11  |             |            | R3         |                   |          | 31,1    |          |                 | 15,55    |                   |       |
| 12  |             |            | R4         |                   |          | 33,2    |          |                 | 16,6     |                   |       |
| 13  | T4          | RPM 2 : 60 | R1         |                   |          | 41,2    | 42,63    | 170,5           | 20,6     | 21,31             | 48    |
| 14  |             |            | R2         |                   |          | 43,1    |          |                 | 21,55    |                   |       |
| 15  |             |            | R3         |                   |          | 43,7    |          |                 | 21,85    |                   |       |
| 16  |             |            | R4         |                   |          | 42,5    |          |                 | 21,25    |                   |       |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Tabla 5-3.** Análisis de la sensorial del almidón

| No. | ALMIDÓN        |          |
|-----|----------------|----------|
|     | Característica |          |
| 1   | Olor           | Inoloro  |
| 2   | Sabor          | Dulce    |
| 3   | Color          | Beige    |
| 4   | Textura        | Granular |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

*Análisis de varianza del rendimiento obtenido de la cáscara del trigo*

H<sub>0</sub>: No existe diferencias significativas entre los tratamientos

H<sub>i</sub>: Si existe diferencias significativas entre los tratamientos

**Tabla 6-3.** Análisis de la varianza

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                   |                    |                           |       |              |                      |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F     | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Velocidad (RPM)           | 48,04             | 1                  | 48,04                     | 24,06 | 0,00         | 4,75                 |
| Tiempo                    | 25,57             | 1                  | 25,57                     | 12,81 | 0,00         | 4,75                 |
| Interacción               | 8,23              | 1                  | 8,23                      | 4,12  | 0,07         | 4,75                 |
| Dentro del grupo          | 23,96             | 12                 | 1,99                      |       |              |                      |
|                           |                   |                    |                           |       |              |                      |
| <b>Total</b>              | <b>105,79</b>     | <b>15</b>          |                           |       |              |                      |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

El valor de la probabilidad entre los tratamientos es de 0,07; es decir, es mayor a  $\alpha$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula determinando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

### 3.1.2 Ensayos físico químico para el almidón de la cáscara de trigo

#### 3.1.2.1 Densidad aparente

**Tabla 7-3.** Resultados de la densidad aparente

| <b>DENSIDAD APARENTE</b> | <b>P SUELTA DEL ALMIDÓN (g/mL)</b> |                          |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1                        | 0,4118                             | Incertidumbre U<br>K = 2 |
| 2                        | 0,4026                             |                          |
| 3                        | 0,4209                             |                          |
| <b>Promedio</b>          | <b>0,4118</b>                      | <b>± 0,32</b>            |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

#### 3.1.2.2 Solubilidad

**Tabla 8-3.** Resultados de solubilidad

| <b>Nº</b>       | <b>pH</b>        | <b>ESTANDAR</b> | <b>NORMA O INSTITUCIÓN</b> |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 1               | Cáscara de trigo | 0,49            | INEN 1456                  |
| 2               |                  | 0,5             |                            |
| 3               |                  | 0,48            |                            |
| <b>Promedio</b> |                  | <b>0,49</b>     |                            |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

#### 3.1.2.3 pH

**Tabla 9-3.** Resultados de pH

| <b>Nº</b>       | <b>pH</b>        | <b>ESTÁNDAR</b> | <b>NORMA O INSTITUCIÓN</b> |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 1               | Cáscara de trigo | 6,09            | INEN 1456                  |
| 2               |                  | 6,11            |                            |
| 3               |                  | 6,07            |                            |
| <b>Promedio</b> |                  | <b>6,09</b>     |                            |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.1.2.4 Contenido de ceniza

**Tabla 10-3.** Resultados del contenido de ceniza

| Contenido de ceniza | %           | Incertidumbre<br>U K = 2 |
|---------------------|-------------|--------------------------|
| 1                   | 0,10        |                          |
| 2                   | 0,11        |                          |
| 3                   | 0,09        |                          |
| <b>Promedio</b>     | <b>0,10</b> | $\pm 0,017$              |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.1.2.5 Contenido de humedad y materia seca

**Tabla 11-3.** Resultados de humedad y materia seca

|                 | Contenido de humedad (%) | Contenido de materia seca (%) | Incertidumbre<br>U K = 2<br>(Contenido de materia seca) |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|---|
| 1               | 11,22                    | 88,78                         |   |
| 2               | 10,78                    | 89,22                         |   |
| 3               | 11,36                    | 88,64                         |   |
| <b>Promedio</b> | <b>11,12</b>             | <b>88,88</b>                  | $\pm 3,55$  |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.1.2.6 Resultados de temperatura de gelatinización

**Tabla 12-3.** Resultados de la temperatura de gelatinización

| Nº              | Temperatura de gelatinización del almidón de la cáscara de trigo (°C) | Estándar | norma o institución |
|-----------------|---|----------|---------------------|
| 1               | 67,70   | 57,5-70  | INEN 1456           |
| 2               | 69,10   |          |                     |
| 3               | 67,21   |          |                     |
| <b>Promedio</b> | <b>68,0</b>   |          |                     |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.1.2.7 Tamaño del gránulo

**Tabla 13-3.** Resultados del tamaño del gránulo

| Tamaño del granulo (µm) | (%)   |
|-------------------------|-------|
| >355                    | 35,21 |
| 355-350                 | 2,62  |
| 350-150                 | 3,97  |

|              |            |
|--------------|------------|
| <150         | 58,20      |
| <b>Total</b> | <b>100</b> |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Según ISI (1999, p. 32) el 99 por ciento de los gránulos de almidón deben pasar a través de un tamiz de malla 100 o el 95% pasar a través de un tamiz de malla 140 (106 µm).

### 3.1.2.8 Contenido de amilosa y amilopectina en el almidón de la cáscara del trigo

Del contenido anulosa se obtuvo el contenido de amilopectina a partir de la diferencia (100 %), lo que permitió la obtención de la relación amilosa/amilopectina.

**Tabla 14-3.** Resultados de la amilosa y amilopectina

| Nº | Prueba       | Almidón de la cáscara de trigo | Institución |
|----|--------------|--------------------------------|-------------|
| 1  | Amilosa      | 24,33                          | CINIAP      |
| 2  | Amilopectina | 57,75                          | CINIAP      |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

En la Tabla 13-3. Se presenta según la FAO (2007, p. 113) y la norma INEN1456:1986 el rango estándar que debe presentar los ensayos fisicoquímico de la cáscara de trigo.

**Tabla 15-3.** Fisicoquímicos del almidón de la cáscara de trigo

| No. | PARÁMETROS                    | UNIDADES | VALOR  | ESTÁNDAR     | NORMA / INSTITUCIÓN  |
|-----|-------------------------------|----------|--------|--------------|--|
| 1   | Humedad                       | %        | 11,12  | 10-12        | FAO  |
| 2   | Ceniza                        | %        | 0,10   | ≤0,12        | AOAC ( Association of Official Analytical Chemists) 942.05 |
| 3   | Solubilidad                   | %        | 0,49   | 0,27-12,52   | INEN 1456  |
| 4   | pH                            | -        | 6,09   | 6,00-7,00    | INEN 1456  |
| 7   | Viscosidad                    | CPS      | 873,00 | 840-1500 CPS | ISI 17-1 del Internatinal Starch Institute                 |
| 8   | Temperatura de gelatinización | °C       | 68,00  | 57,5-70      | INEN 1456  |
| 10  | Amilosa                       | %        | 24,33  | 17-24        | CINIAP   |
| 11  | Amilopectina                  | %        | 57,75  | 76-83        | CINIAP   |
| 12  | Hongos                        | UFC/g    | 4000   | 1000-5000    | FAO  |
| 13  | Levaduras y                   | UFC/g    | 4000   | 1000-5000    | FAO  |

|    |                    |       |          |          |     |
|----|--------------------|-------|----------|----------|-----|
|    | mohos              |       |          |          |     |
| 14 | Coliformes totales | UFC/g | Ausencia | Ausencia | FAO |

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

## **3.2 Resultados obtenidos del bioplástico**

### **3.2.1 Análisis del bioplástico**

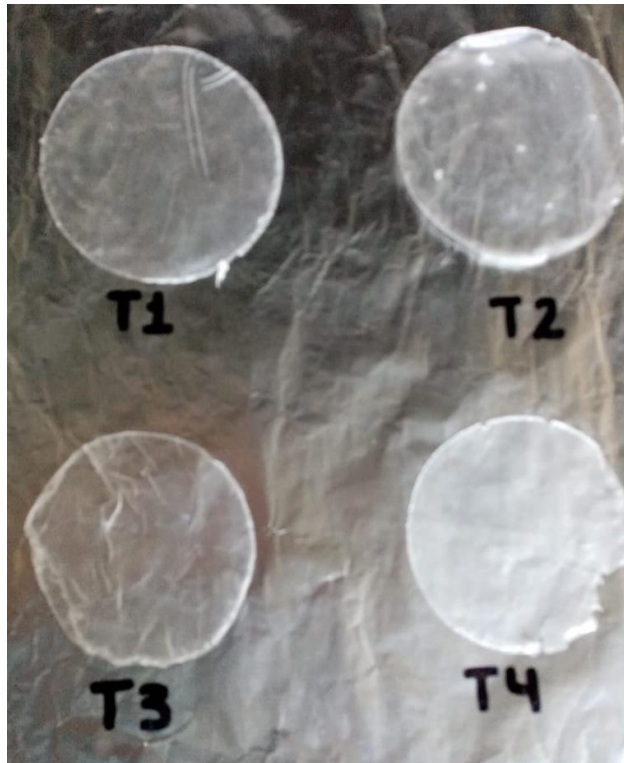
#### *3.2.1.1 Ensayos preliminares con las variables establecidas del bioplástico*

En la tabla 15-3 se muestran los ensayos preliminares realizados para los 4 tratamientos a la concentración de almidón y plastificante (glicerina) establecidos para la elaboración de las biopelículas, mediante el vertido en cajas petri o también conocido como la técnica de casting, para posteriormente colocar la muestra en los moldes de 21x30 cm.

**Tabla 16-3.** Ensayos preliminares para la formación del bioplástico

| No. | TRATAMIENTO | REPETICIÓN | TEMPERATURA (°C) | TIEMPO (min) ELABORACIÓN | SECADO |          |            |            | ÁREA (cm <sup>2</sup> ) | PESO (gr) |             | PESO / ÁREA | ESPESOR (mm) | MOLDEO | FORMA PELÍCULA | TRANSPARENCIA | ESTABILIDAD |
|-----|-------------|------------|------------------|--------------------------|--------|----------|------------|------------|-------------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------|----------------|---------------|-------------|
|     |             |            |                  |                          | LUGAR  | MÉTODO   | TEMP. (°C) | TIEMPO (H) |                         | PESO (gr) | PESO / ÁREA |             |              |        |                |               |             |
| 1   | TP1         | R1         | 68               | 30                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         | 9                       | 1,912     | 1,7         | 0,212       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 2   |             | R2         | 68               | 30                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,596     |             | 0,177       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 3   |             | R3         | 68               | 30                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,709     |             | 0,190       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 4   |             | R4         | 68               | 30                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,568     |             | 0,174       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 5   | TP2         | R1         | 70               | 35                       | L.I.   | Ambiente | 20         | 48         | 9                       | 1,35      | 1,7         | 0,150       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | Quebradizo  |
| 6   |             | R2         | 70               | 35                       | L.I.   | Ambiente | 20         | 48         |                         | 1,369     |             | 0,152       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 7   |             | R3         | 70               | 35                       | L.I.   | Ambiente | 20         | 48         |                         | 1,849     |             | 0,205       | 0,100        | SI     | SI             | SI            | NO          |
| 8   |             | R4         | 70               | 35                       | L.I.   | Ambiente | 20         | 48         |                         | 1,848     |             | 0,205       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 9   | TP3         | R1         | 68,5             | 30                       | L.I.   | Ambiente | 23         | 48         | 9                       | 1,915     | 1,7         | 0,213       | 0,100        | SI     | SI             | SI            | NO          |
| 10  |             | R2         | 68,5             | 30                       | L.I.   | Ambiente | 23         | 48         |                         | 1,754     |             | 0,195       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 11  |             | R3         | 68,5             | 30                       | L.I.   | Ambiente | 23         | 48         |                         | 1,404     |             | 0,156       | 0,100        | SI     | SI             | SI            | Quebradizo  |
| 12  |             | R4         | 68,5             | 30                       | L.I.   | Ambiente | 23         | 48         |                         | 1,853     |             | 0,206       | 0,100        | SI     | SI             | SI            | Quebradizo  |
| 13  | TP4         | R1         | 70               | 40                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         | 9                       | 1,724     | 1,7         | 0,192       | 0,100        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 14  |             | R2         | 70               | 40                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,905     |             | 0,212       | 0,300        | SI     | SI             | SI            | SI          |
| 15  |             | R3         | 70               | 40                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,78      |             | 0,198       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | NO          |
| 16  |             | R4         | 70               | 40                       | L.I.   | Ambiente | 25         | 48         |                         | 1,692     |             | 0,188       | 0,200        | SI     | SI             | SI            | SI          |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Figura 1-3.** Biopelícula obtenida en los ensayos

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Todas las concentraciones establecidas por el método estadístico formaron una biopelícula, en el caso de TP4, se observa deformación y deterioro por acción del vapor, esta anomalía encontrada representa defecto de una mala homogeneidad, provocando grietas para el bioplástico, por lo que se rechaza como envoltura para productos alimenticios.

### 3.2.2 Cálculos realizados a los ensayos de bioplásticos de la cáscara del trigo

#### 3.2.2.1 Cálculo del ensayo de humedad

Los ensayos de humedad se realizaron por duplicado, obteniendo un promedio para cada tratamiento, a continuación, se muestra el cálculo del Tratamiento uno TR1, a partir de la ecuación 6-2.

$$\% \text{ humedad } R1 = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100$$

Reemplazar los valores de la investigación

$$\% \text{ humedad R1} = \frac{(47,723 - 47,348)}{47,723} \times 100$$

$$\% \text{ humedad R1} = 0,786$$

### 3.2.2.2 Cálculo del ensayo de la solubilidad

Los ensayos de humedad se realizaron por duplicado, obteniendo un promedio para cada tratamiento, a continuación, se muestra el cálculo del Tratamiento uno TR1, a partir de la ecuación 6-2.

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso final}} \times 100$$

Reemplazar los valores de la investigación

$$\% \text{ Solubilidad R1} = \frac{(0,786 - 0,308)}{0,786} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad R1} = 60,81$$

### 3.2.2.3 Cálculo del ensayo de la solubilidad

$$WVTR = \frac{\left(\frac{Q}{t}\right)}{A}$$

Donde:

- Q = Peso ganado del desecante en gramos
- WVTR = Tasa de Transmisión de vapor de agua
- t = Tiempo de la prueba en horas
- A = Área total del bioplástico

Donde:



- WVP = es la permeabilidad al vapor de agua en (g\*h<sup>-1</sup> \* m<sup>-1</sup>\* MPa<sup>-1</sup>).
- WVTR = es la pendiente de la curva (g h) sobre el área expuesta de la lámina (gh \* m).
- s' = es la presión de vapor de agua a la temperatura del ensayo (MPa) T= 20°C.
- A = es la humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada
- HR2 = 75%
- HR1 es la humedad relativa en el interior de la celda (HR1= 0%).
- e = espesor (m)

$$3 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,03$$

$$\Delta = (0,03 \times 0,03)m$$

$$\Delta = 9 \times 10^{-4}m^2$$

$$WVP = \frac{(32,332 - 31,645) \text{ g/h}}{0,0009m^2}$$

$$WVP = 763,333 \text{ g/m}^2h$$

$$\Delta p = s'(HR_2 - HR_1)$$

$$\Delta p = 0,002339(75 - 0)\%$$

$$\Delta p = 0,175425 \text{ MPa}$$

### Permeabilidad de vapor de agua

$$WVP = \frac{WVTR \times e}{\Delta p}$$

$$0,2 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ cm}} = 0,0002$$

$$\Delta = 0,0002m$$

$$WVP = \frac{W \left(763,333 \frac{g}{m^2h}\right) \times 0,0002m}{0,175425MPa}$$

$$WVP = 8,70E-01 \text{ gmh}$$

### 3.2.3 Resultados de la caracterización físicos y mecánicos del bioplástico

De acuerdo con los análisis sensoriales obtenidos se llevó a cabo los ensayos que caracterizan a un bioplástico.

#### 3.2.3.1 Ensayo de espesor

Este ensayo fue basado en la revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay (Escobar, et al., 2009), en el cual se realizó lo siguiente: Se midió con un pie de rey. con una resolución de 0,002 cm, 4 biopelículas recortadas con medidas de 2,5cm x 2,5cm cada una y el resultado se registró como el promedio de las mismas. Corregir

**Tabla 17-3.** Espesor del bioplástico

| No. | TRATAMIENTO | VARIABLE | REPETICIÓN | ESPESOR (mm) | Promedio |
|-----|-------------|----------|------------|--------------|----------|
| 1   | TP1         | CA1:CP1  | R1         | 0,2          | 0,2      |
| 2   |             |          | R2         | 0,2          |          |
| 3   |             |          | R3         | 0,2          |          |
| 4   |             |          | R4         | 0,2          |          |
| 5   | TP2         | CA1:CP2  | R1         | 0,2          | 0,175    |
| 6   |             |          | R2         | 0,2          |          |
| 7   |             |          | R3         | 0,1          |          |
| 8   |             |          | R4         | 0,2          |          |
| 9   | TP3         | CA2:CP1  | R1         | 0,1          | 0,125    |
| 10  |             |          | R2         | 0,2          |          |
| 11  |             |          | R3         | 0,1          |          |
| 12  |             |          | R4         | 0,1          |          |
| 13  | TP4         | CA2:CP2  | R1         | 0,1          | 0,2      |
| 14  |             |          | R2         | 0,3          |          |
| 15  |             |          | R3         | 0,2          |          |
| 16  |             |          | R4         | 0,2          |          |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

#### 3.2.3.2 Ensayo de humedad

**Tabla 18-3.** Humedad de los bioplásticos

| Nº | TRATAMIENTO | VARIABLE | REPETICIÓN | HUMEDAD (%) | promedio |
|----|-------------|----------|------------|-------------|----------|
| 1  | TP1         | CA1:CP1  | R1         | 12,230      | 12,23    |
| 2  |             |          | R2         | 12,231      |          |
| 1  | TP2         | CA2:CP1  | R1         | 12,341      | 12,34    |
| 2  |             |          | R2         | 12,338      |          |
| 1  |             |          | R1         | 12,224      |          |

|   |     |         |    |        |       |
|---|-----|---------|----|--------|-------|
| 2 | TP3 | CA3:CP1 | R2 | 12,215 | 12,22 |
| 1 | TP4 | CA4:CP1 | R1 | 12,175 |       |
| 2 |     |         | R2 | 12,167 | 12,17 |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.2.3.3 Ensayo de solubilidad en el agua

**Tabla 19-3.** Solubilidad en el agua de los bioplásticos

| Nº | TRATAMIENTO | VARIABLE | REPETICIÓN | Peso inicial seco (gr) | Peso final seco (gr) | SOLUBILIDAD (%) | PROMEDIO |
|----|-------------|----------|------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------|
| 1  | TP1         | CA1:CP1  | R1         | 0,786                  | 0,308                | 60,814          | 80,856   |
| 2  |             |          | R2         | 0,78                   | 0,305                | 60,897          |          |
| 1  | TP2         | CA2:CP1  | R1         | 0,779                  | 0,269                | 65,469          | 60,522   |
| 2  |             |          | R2         | 0,752                  | 0,304                | 59,574          |          |
| 1  | TP3         | CA3:CP1  | R1         | 0,752                  | 0,301                | 59,973          | 59,495   |
| 2  |             |          | R2         | 0,732                  | 0,3                  | 59,016          |          |
| 1  | TP4         | CA4:CP1  | R1         | 0,777                  | 0,312                | 59,846          | 58,422   |
| 2  |             |          | R2         | 0,693                  | 0,298                | 56,999          |          |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.2.3.4 Ensayo de permeabilidad al vapor

En la Tabla 19-3, se muestran los pesos de (sílica gel, tubo de ensayo y bioplástico) expuestos en ambiente húmedo por 6 horas. Con mediciones periódicas. Tabla 21-3: Datos para el ensayo de permeabilidad de vapor

**Tabla 20-3.** Ensayo de permeabilidad al vapor

| Tiempo (horas) | Tratamientos |          |          |          |
|----------------|--------------|----------|----------|----------|
|                | TP1 (gr)     | TP2 (gr) | TP3 (gr) | TP4 (gr) |
| Peso inicial   | 31,645       | 30,656   | 31,632   | 32,037   |
|                | 32,039       | 31,986   | 32,341   | 31,112   |
| 1              | 32,332       | 32,408   | 32,120   | 32,726   |
|                | 32,127       | 32,735   | 32,453   | 32,417   |
| 2              | 32,332       | 32,41    | 32,121   | 32,727   |
|                | 32,128       | 32,735   | 32,453   | 32,418   |
| 3              | 32,333       | 32,401   | 32,122   | 32,727   |
|                | 32,128       | 32,736   | 32,4     | 32,418   |
| 4              | 32,33        | 32,40    | 32,123   | 32,728   |
|                | 32,130       | 32,7     | 32,401   | 32,419   |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leid

**Tabla 21-3.** Resultados de permeabilidad

|                                | TP1       | TP2       | TP3       | TP4       |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA | 1,843E-06 | 7,767E-06 | 2,922E-06 | 1,452E-06 |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.2.3.5 Ensayo mecánico

**Tabla 22-3.** Resultados de las propiedades mecánicas del bioplástico

| Nº | TRATAMIENTO | MÓDULO ELASTICIDAD (Mpa) | CARGA DE FLUENCIA (N) | ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa) | CARGA MÁXIMA (N) | ESFUERZO MÁXIMO (Mpa) | ELONGACIÓN (%) |
|----|-------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| 1  | TP1         | 3,42E+03                 | 0,77                  | 0,84                       | 0,79             | 0,86                  | 26,6           |
| 2  | TP2         | 2,90E+00                 | 0,6                   | 0,55                       | 0,62             | 0,57                  | 17,67          |
| 3  | TP3         | 3,53E+00                 | 0,42                  | 0,34                       | 0,44             | 0,36                  | 12,4           |
| 4  | TP4         | 1,14E+03                 | 0,6                   | 0,57                       | 0,62             | 0,60                  | 18,89          |

Equipo: Máquina Universal de ensayos (WAW600B)

Marca: Jinan Liangong Testing Technology CO., LTD

Serie: 7136

Certificado: LNM-F-201650006-CÓD IDENT: M2

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.2.3.6 Ensayo de biodegradabilidad

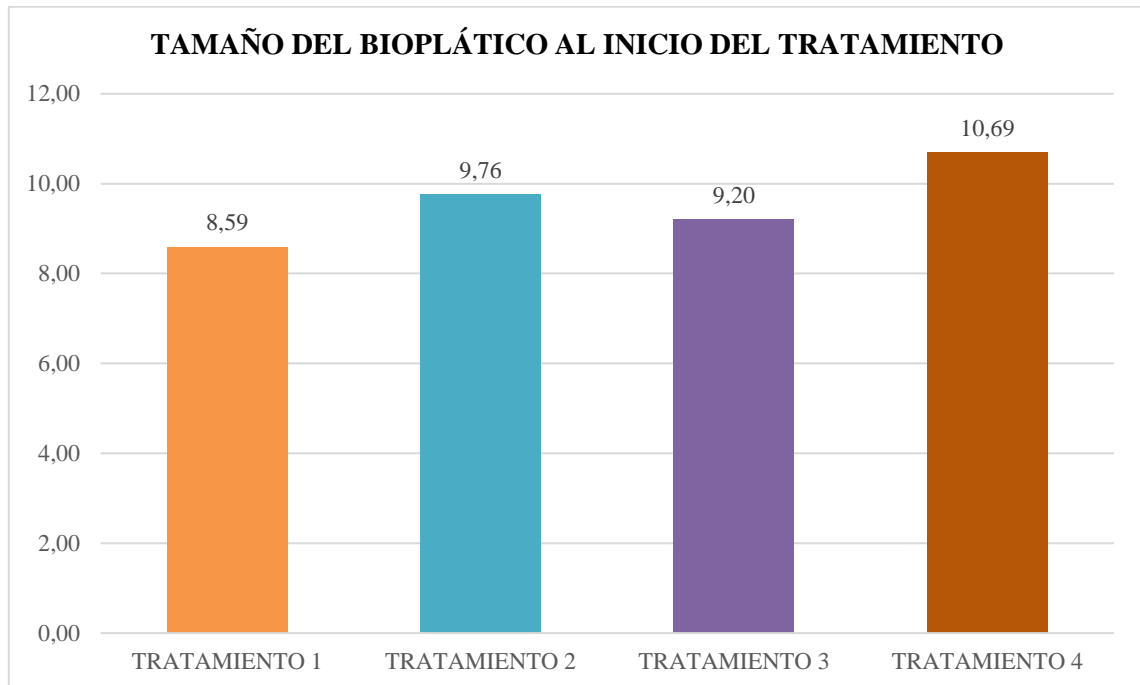
**Tabla 23-3.** Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al ambiente

| Días | TP1        |                   | TP2        |                   | TP3        |                   | TP4        |                   |
|------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|
|      | Área (cm2) | % pérdida de peso | Área (cm2) | % pérdida de peso | Área (cm2) | % pérdida de peso | Área (cm2) | % pérdida de peso |
| 0    | 8,586      | 0                 | 9,757      | 0                 | 9,200      | 0                 | 10,687     | 0                 |
| 3    | 5,216      | 39                | 6,522      | 33                | 8,378      | 9                 | 7,374      | 31                |
| 6    | 4,365      | 49                | 5,276      | 46                | 4,280      | 53                | 5,033      | 53                |
| 9    | 2,944      | 66                | 3,774      | 61                | 3,201      | 65                | 3,445      | 68                |
| 12   | 2,098      | 76                | 2,779      | 72                | 2,180      | 76                | 2,360      | 78                |

|    |       |    |       |    |       |     |       |     |
|----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|
| 15 | 1,494 | 83 | 2,047 | 79 | 1,485 | 84  | 1,617 | 85  |
| 18 | 1,065 | 88 | 1,507 | 85 | 1,012 | 89  | 1,108 | 90  |
| 21 | 0,759 | 91 | 1,110 | 89 | 0,689 | 93  | 0,759 | 93  |
| 24 | 0,541 | 94 | 0,817 | 92 | 0,469 | 95  | 0,520 | 95  |
| 27 | 0,385 | 96 | 0,602 | 94 | 0,320 | 97  | 0,357 | 97  |
| 30 | 0,274 | 97 | 0,443 | 95 | 0,218 | 98  | 0,244 | 98  |
| 35 | 0,156 | 98 | 0,266 | 97 | 0,115 | 99  | 0,130 | 99  |
| 40 | 0,089 | 99 | 0,160 | 98 | 0,061 | 99  | 0,069 | 99  |
| 45 | 0,050 | 99 | 0,096 | 99 | 0,032 | 100 | 0,037 | 100 |

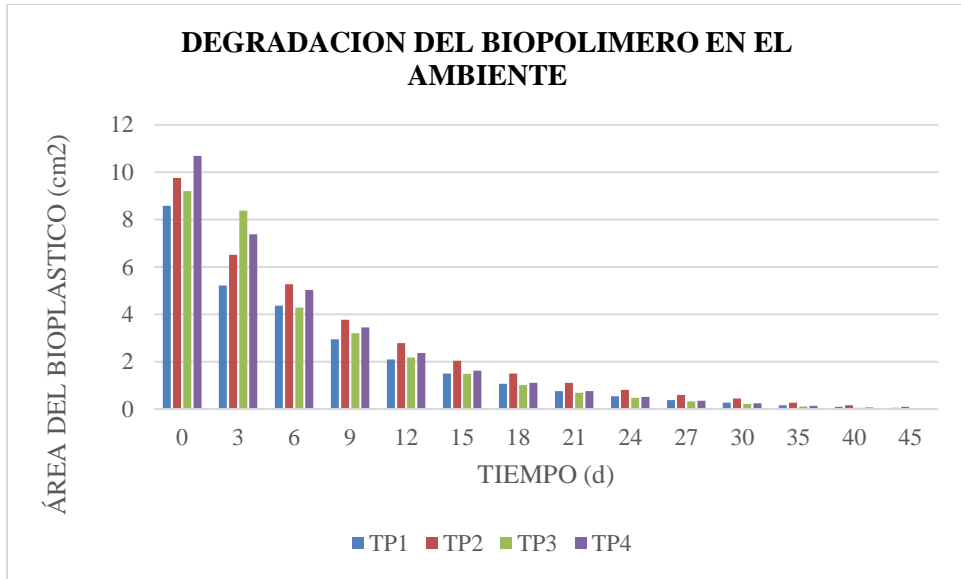
**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

La norma europea EN 13432 define que los productos finales de las reacciones en presencia de oxígeno y sin oxígeno son las siguientes: Descomposición aeróbica (con oxígeno):  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{biomasa}$ .



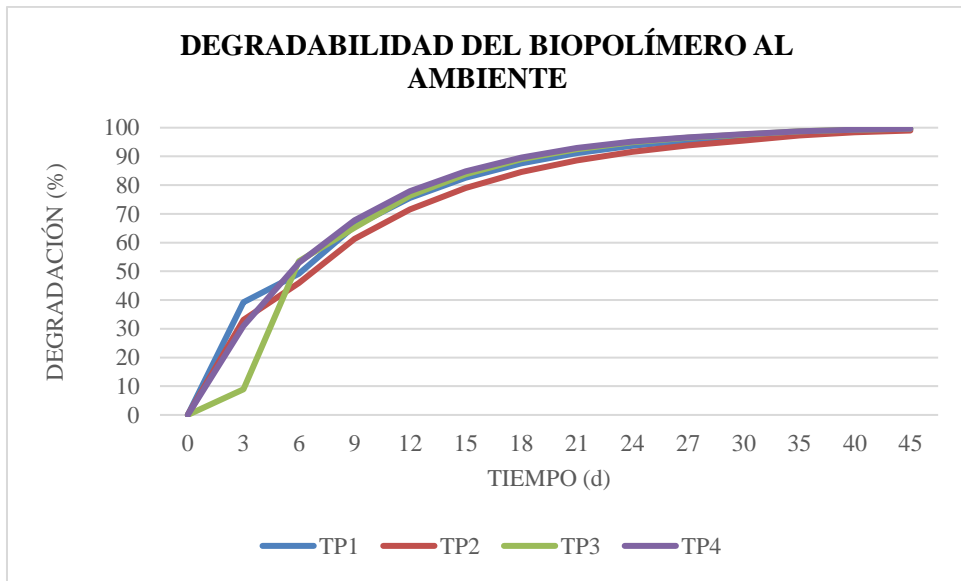
**Gráfico 1-3.** Tamaño del Bioplástico por ensayo

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 2-3.** Variación del tamaño del bioplástico

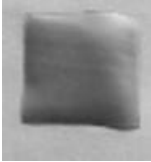
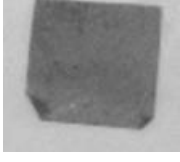
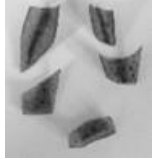
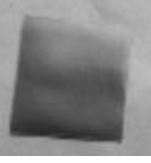
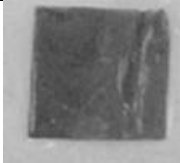
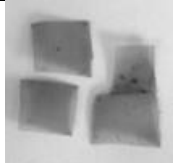

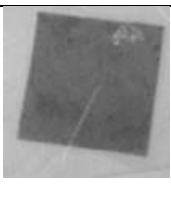
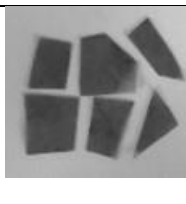
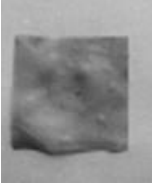
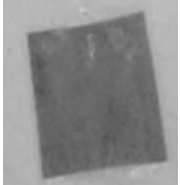
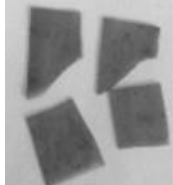
Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 3-1.** Variación porcentual del Bioplástico

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 24-3.** Degradabilidad de biopelículas por acción del ambiente

| TRATAMIENTOS  | EVOLUCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BIOPOLIMERO  |   |  |
|---------------|--|---|--|
| TRATAMIENTO 1 |   |   |   |
| TRATAMIENTO 2 |   |   |   |
| TRATAMIENTO 3 |   |   |   |
| TRATAMIENTO 4 |  |  |  |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

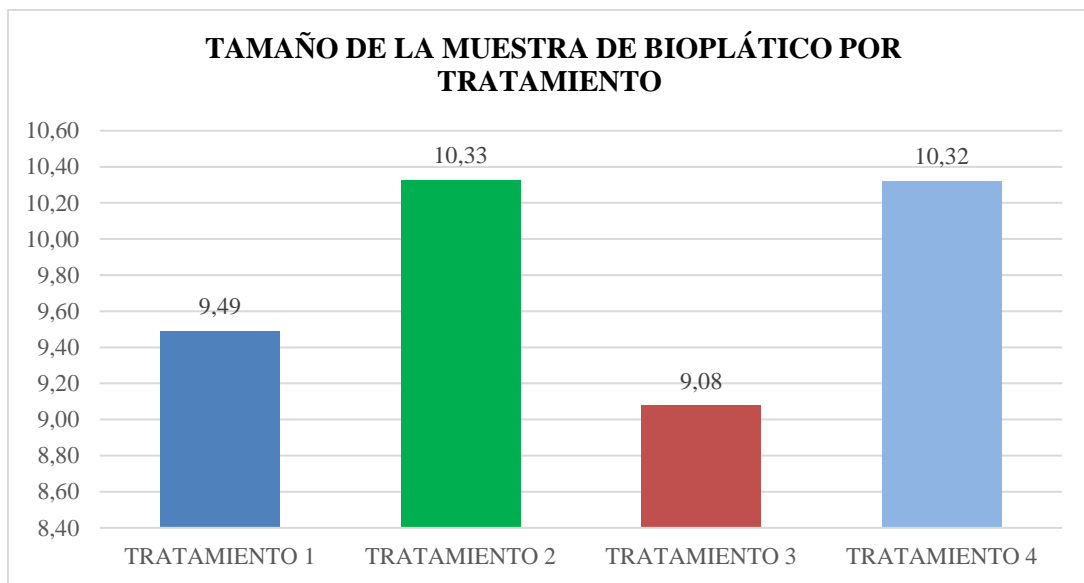
### Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al agua

**Tabla 25-3.** Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al agua

| Días | TP1                     |                   | TP2                     |                   | TP3                     |                   | TP4                     |                   |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
|      | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso |
| 0    | 9,489                   | 0                 | 10,325                  | 0                 | 9,077                   | 0                 | 10,321                  | 0                 |
| 3    | 8,068                   | 15                | 10,071                  | 2                 | 7,491                   | 17                | 8,136                   | 21                |
| 15   | 7,140                   | 25                | 8,070                   | 22                | 6,213                   | 32                | 7,438                   | 28                |
| 18   | 6,766                   | 29                | 7,692                   | 25                | 5,677                   | 37                | 6,876                   | 33                |
| 21   | 6,449                   | 32                | 7,310                   | 29                | 5,298                   | 42                | 6,515                   | 37                |
| 24   | 6,147                   | 35                | 6,946                   | 33                | 4,945                   | 46                | 6,172                   | 40                |
| 27   | 5,859                   | 38                | 6,601                   | 36                | 4,615                   | 49                | 5,848                   | 43                |
| 30   | 5,584                   | 41                | 6,273                   | 39                | 4,308                   | 53                | 5,541                   | 46                |
| 35   | 5,155                   | 46                | 5,762                   | 44                | 3,840                   | 58                | 5,064                   | 51                |
| 40   | 4,759                   | 50                | 5,292                   | 49                | 3,423                   | 62                | 4,628                   | 55                |
| 45   | 4,393                   | 54                | 4,861                   | 53                | 3,051                   | 66                | 4,230                   | 59                |

|     |       |    |       |    |       |     |       |    |
|-----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|----|
| 50  | 4,055 | 57 | 4,465 | 57 | 2,719 | 70  | 3,866 | 63 |
| 55  | 3,743 | 61 | 4,101 | 60 | 2,424 | 73  | 3,533 | 66 |
| 60  | 3,455 | 64 | 3,767 | 64 | 2,161 | 76  | 3,229 | 69 |
| 65  | 3,190 | 66 | 3,460 | 66 | 1,926 | 79  | 2,951 | 71 |
| 70  | 2,945 | 69 | 3,178 | 69 | 1,717 | 81  | 2,697 | 74 |
| 75  | 2,718 | 71 | 2,919 | 72 | 1,530 | 83  | 2,465 | 76 |
| 80  | 2,509 | 74 | 2,681 | 74 | 1,364 | 85  | 2,253 | 78 |
| 85  | 2,316 | 76 | 2,463 | 76 | 1,216 | 87  | 2,059 | 80 |
| 90  | 2,138 | 77 | 2,262 | 78 | 1,084 | 88  | 1,882 | 82 |
| 120 | 1,323 | 86 | 1,358 | 87 | 0,544 | 94  | 1,096 | 89 |
| 150 | 0,819 | 91 | 0,816 | 92 | 0,273 | 97  | 0,639 | 94 |
| 180 | 0,507 | 95 | 0,490 | 95 | 0,137 | 98  | 0,372 | 96 |
| 210 | 0,313 | 97 | 0,294 | 97 | 0,069 | 99  | 0,217 | 98 |
| 240 | 0,194 | 98 | 0,177 | 98 | 0,034 | 100 | 0,126 | 99 |

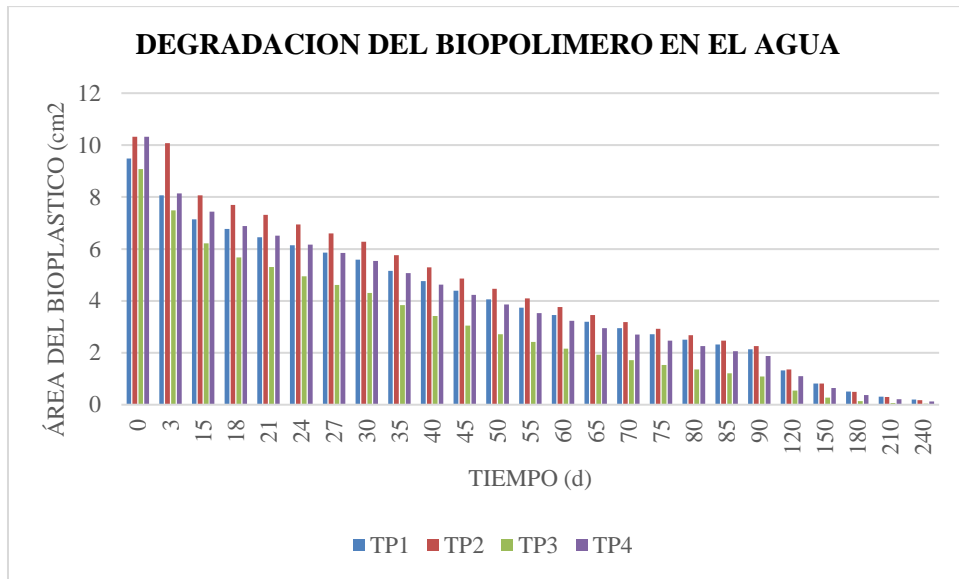
**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 4-3.** Tamaño del bioplástico para el tratamiento el agua

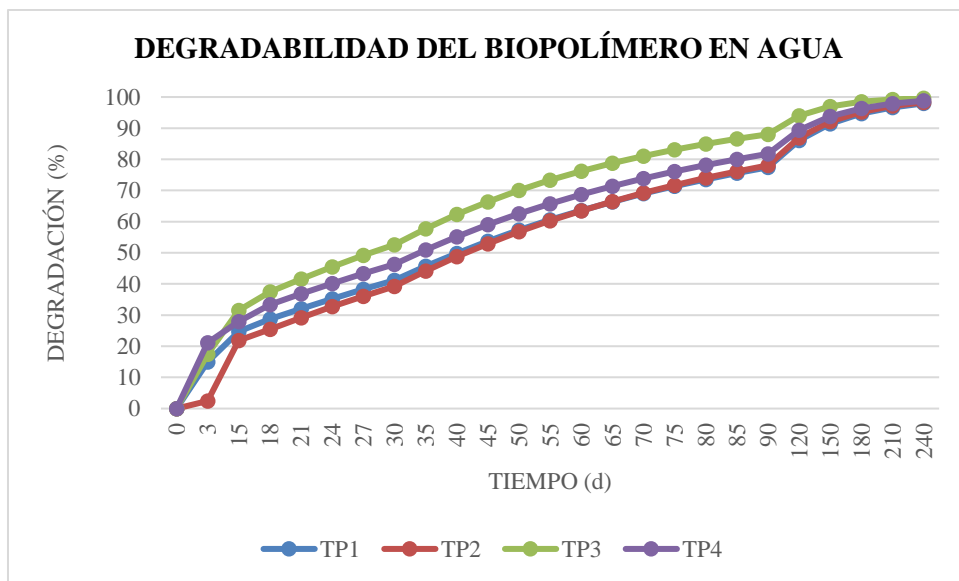
**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy





**Gráfico 5-3.** Variación del tamaño por efecto de degradación en agua

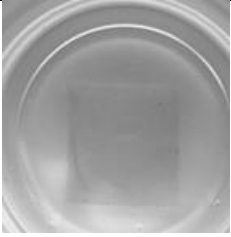
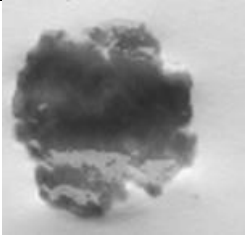

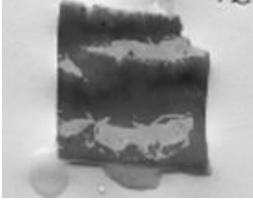

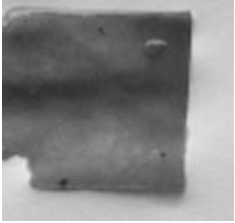

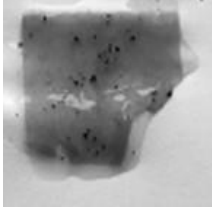
Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 6-3.** Variación porcentual de biopelículas en agua

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 26-3.** Registro fotográfico de degradación de biopelículas en agua

| TRATAMIENTOS  | EVOLUCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BIOPOLIMERO   |   |
|---------------|---|---|
| TRATAMIENTO 1 |    |    |
| TRATAMIENTO 2 |    |    |
| TRATAMIENTO 3 |   |   |
| TRATAMIENTO 4 |  |  |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

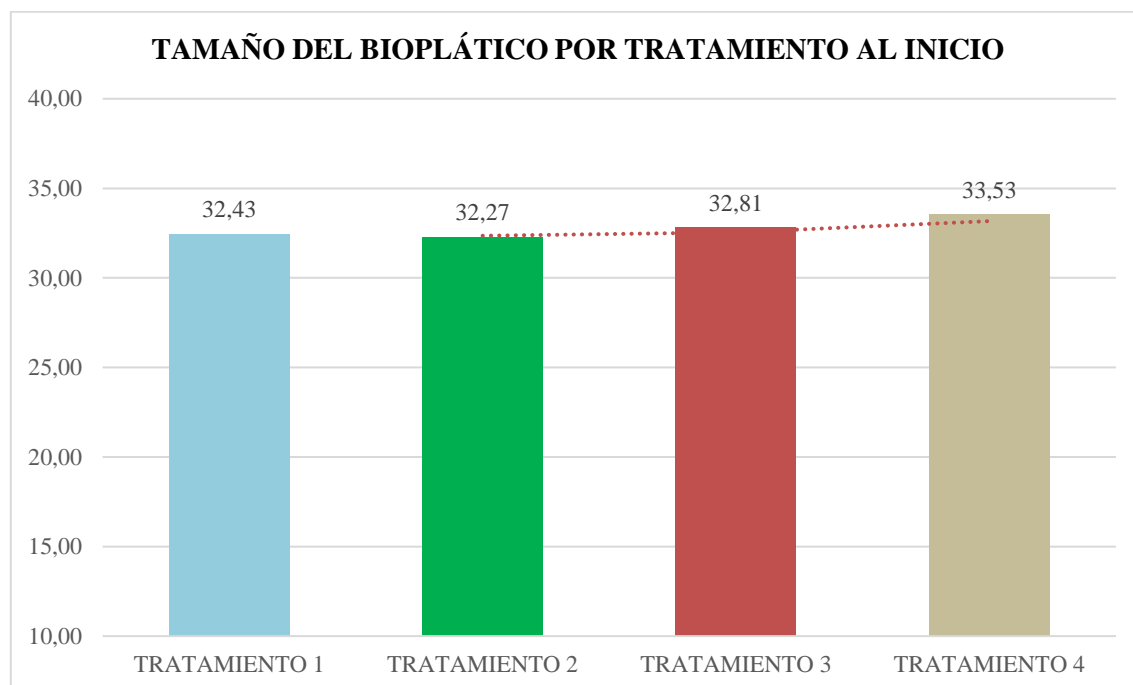
### Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al suelo

**Tabla 27-3.** Biodegradabilidad del biopolímero de cáscara de trigo al suelo

| Días | TP1                     |                   | TP2                     |                   | TP3                     |                   | TP4                     |                   |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
|      | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso | Área (cm <sup>2</sup> ) | % pérdida de peso |
| 0    | 32,434                  | 0,000             | 32,270                  | 0,000             | 32,808                  | 0,000             | 33,532                  | 0,000             |
| 3    | 31,653                  | 2,408             | 29,425                  | 8,816             | 31,663                  | 2,377             | 28,422                  | 12,370            |
| 6    | 15,217                  | 53,083            | 13,602                  | 57,849            | 15,863                  | 51,649            | 15,449                  | 53,928            |
| 9    | 14,222                  | 56,151            | 11,119                  | 65,544            | 13,857                  | 57,763            | 10,946                  | 67,357            |
| 12   | 7,932                   | 75,544            | 9,629                   | 70,161            | 11,385                  | 65,298            | 8,220                   | 75,486            |
| 15   | 6,432                   | 80,169            | 8,023                   | 75,138            | 10,112                  | 69,178            | 6,365                   | 81,018            |
| 18   | 4,395                   | 86,450            | 5,231                   | 83,791            | 6,894                   | 78,987            | 4,128                   | 87,689            |
| 21   | 3,094                   | 90,461            | 3,875                   | 87,992            | 5,310                   | 83,814            | 2,897                   | 91,359            |

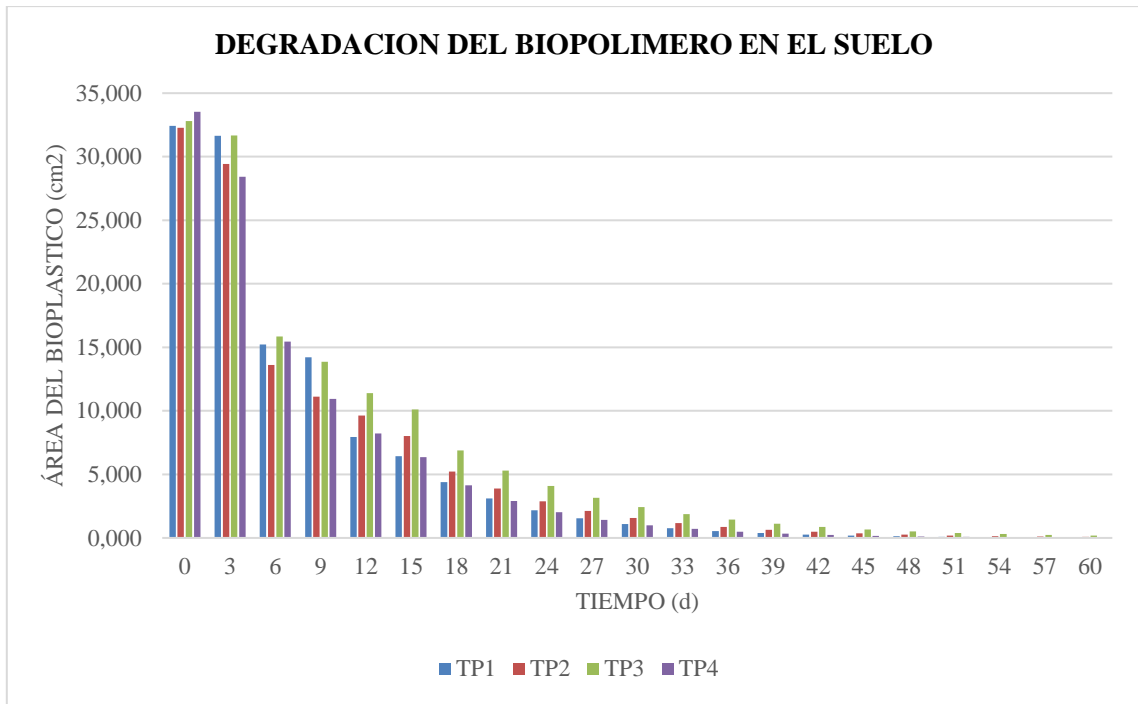
|    |       |        |       |        |       |        |       |        |
|----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 24 | 2,178 | 93,284 | 2,871 | 91,104 | 4,090 | 87,532 | 2,034 | 93,935 |
| 27 | 1,533 | 95,272 | 2,127 | 93,410 | 3,151 | 90,397 | 1,427 | 95,743 |
| 30 | 1,079 | 96,672 | 1,575 | 95,118 | 2,427 | 92,603 | 1,002 | 97,012 |
| 33 | 0,760 | 97,657 | 1,167 | 96,383 | 1,869 | 94,302 | 0,703 | 97,903 |
| 36 | 0,535 | 98,351 | 0,865 | 97,321 | 1,440 | 95,611 | 0,494 | 98,528 |
| 39 | 0,377 | 98,839 | 0,641 | 98,015 | 1,109 | 96,619 | 0,346 | 98,967 |
| 42 | 0,265 | 99,183 | 0,475 | 98,530 | 0,854 | 97,396 | 0,243 | 99,275 |
| 45 | 0,187 | 99,425 | 0,352 | 98,911 | 0,658 | 97,994 | 0,171 | 99,491 |
| 48 | 0,131 | 99,595 | 0,260 | 99,193 | 0,507 | 98,455 | 0,120 | 99,643 |
| 51 | 0,093 | 99,715 | 0,193 | 99,402 | 0,390 | 98,810 | 0,084 | 99,749 |
| 54 | 0,065 | 99,799 | 0,143 | 99,557 | 0,301 | 99,083 | 0,059 | 99,824 |
| 57 | 0,046 | 99,859 | 0,106 | 99,672 | 0,232 | 99,294 | 0,041 | 99,876 |
| 60 | 0,032 | 99,900 | 0,078 | 99,757 | 0,178 | 99,456 | 0,029 | 99,913 |

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



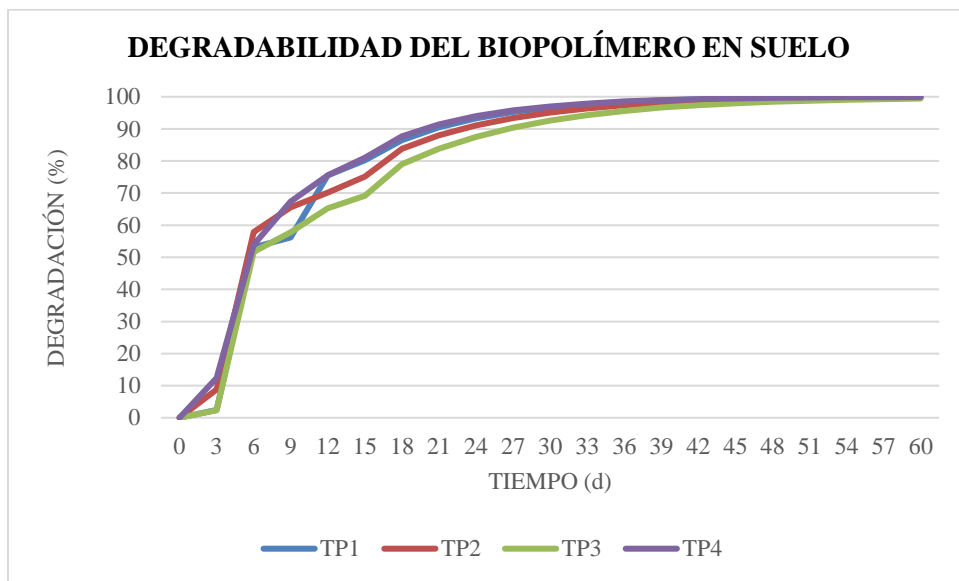
**Gráfico 7-3.** Biopelículas por tratamiento para pruebas de degradación en el suelo

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 8-3.** Variación de tamaño de biopelículas en el suelo

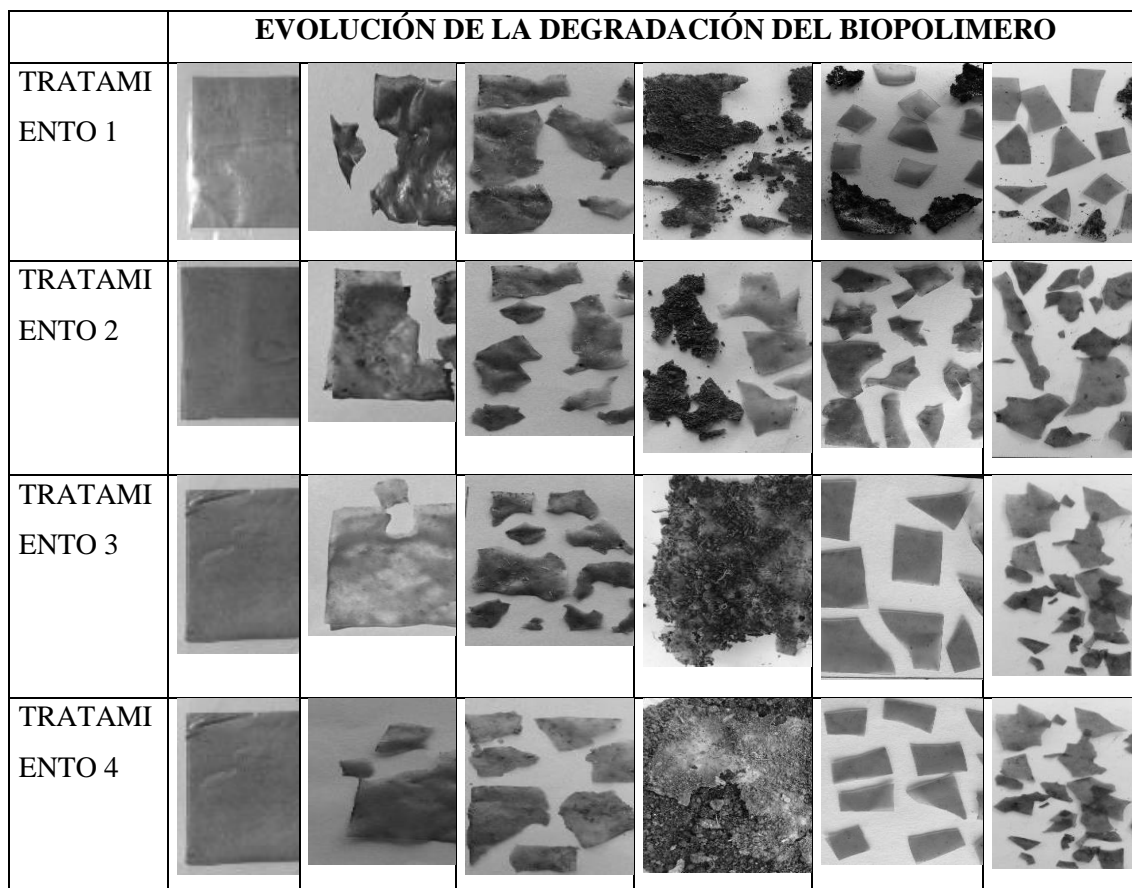
Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



**Gráfico 9-3.** Variación porcentual de biodegradación en el suelo

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

**Tabla 28-3.** Registro fotográfico de variación de tamaño por efecto del suelo



Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Tabla 29-3. Análisis de varianza ANOVA del biopolímero

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                   |                    |                           |       |              |                      |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F     | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Almidón (gr)              | 0,043             | 1                  | 0,043                     | 1,033 | 0,329        | 4,747                |
| Plastificante (mL)        | 0,002             | 1                  | 0,002                     | 0,057 | 0,815        | 4,747                |
| Interacción               | 0,018             | 1                  | 0,018                     | 0,448 | 0,516        | 4,747                |
| Dentro del grupo          | 0,495             | 12                 | 0,041                     |       |              |                      |
| <b>Total</b>              | <b>0,559</b>      | <b>15</b>          |                           |       |              |                      |

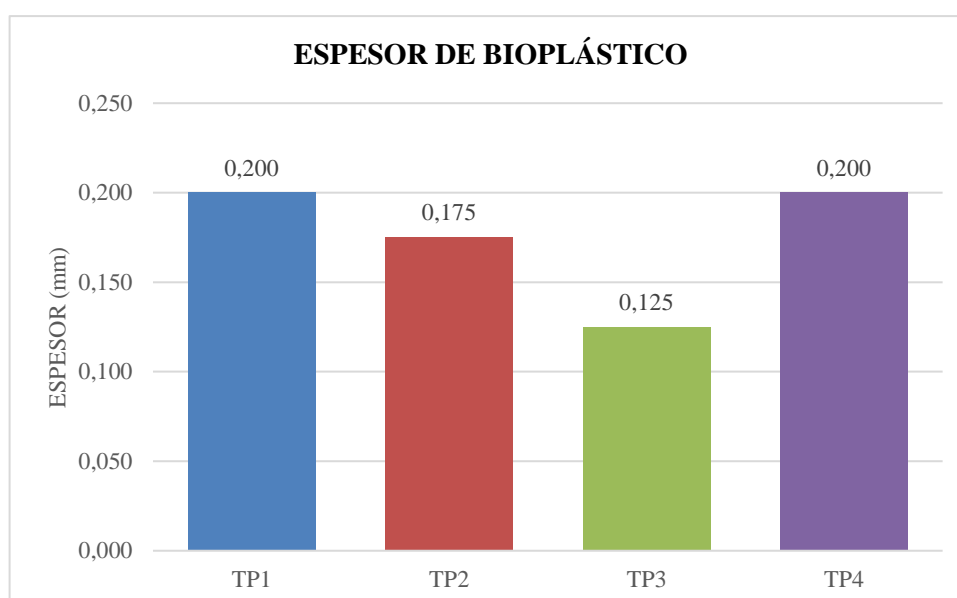
Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

El valor de la probabilidad entre los tratamientos es de 0,516; es decir, es mayor a  $\alpha = 0,05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula determinando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

### 3.3 Discusión

El contenido de Amilosa y Amilopectina en el almidón del trigo es de 24,33% y 57,75% respectivamente, en 100 gramos de almidón. Mediante el análisis sensorial se pudo comprobar que a concentraciones de almidón 4 g. y glicerina 2 mL. se forma biopelículas; seleccionado los mejores tratamientos que cumplen con el análisis físico químico. Tratamientos TP1, TP2, TP3.

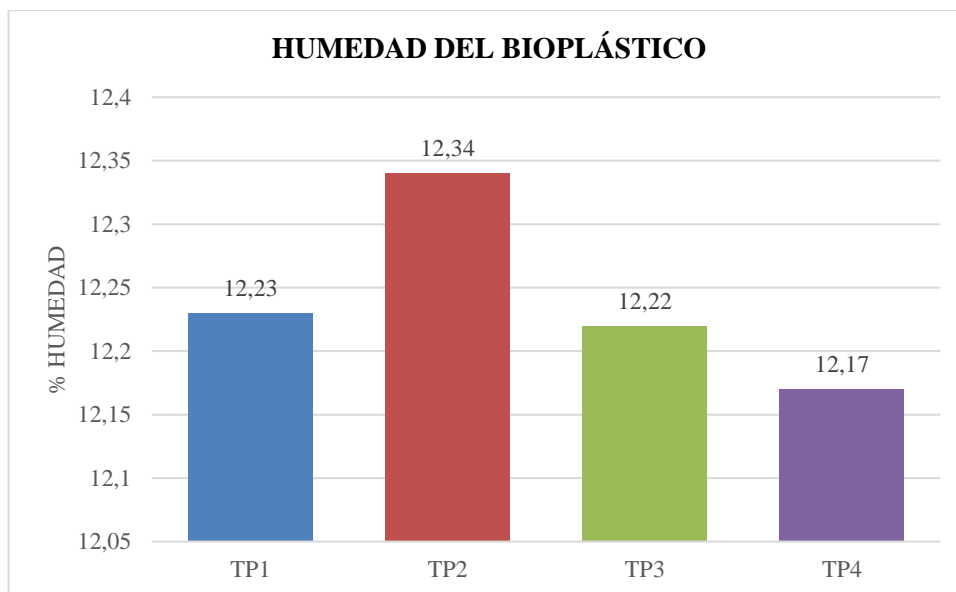
Para el espesor, según la Norma INEN 2542:2010 (Láminas plásticas requisitos), establece que las biopelículas deben tener un máximo de 0,2mm. Comprobando que el TP1, TP2, TP3, TP4, que se detallan en la tabla 3-18, cumplen con la norma y pueden ser empleados como láminas plásticas, se puede apreciar en la figura 3-5 el espesor de las biopelículas obtenidas.



**Gráfico 10-3.** Espesor del bioplástico

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

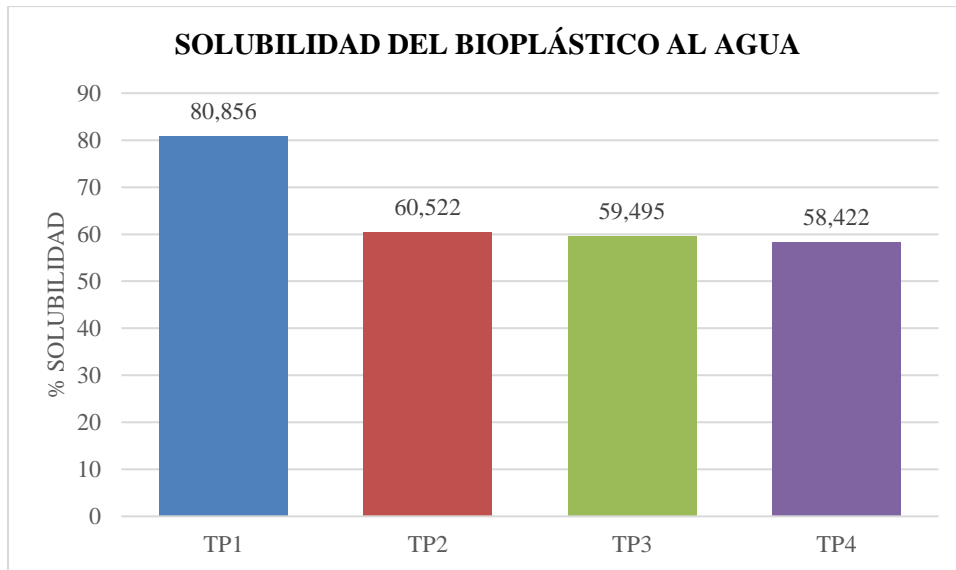
Las biopelículas obtenidas nos dan un promedio de humedad entre el 12,17% a 12,34%; el tratamiento TP1 tiene un 12,23%; el TP2 tiene un porcentaje del 12,34%, son las que presentan facilidad para hidratar. Escobar (2009), manifiesta que las láminas de bioplástico deben estar en un rango de humedad de entre el 19,3 – 22,1%, factor importante para evitar la flora bacteriana que se pueda crear en la biopelícula.



**Gráfico 11-3.** Humedad del bioplástico

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

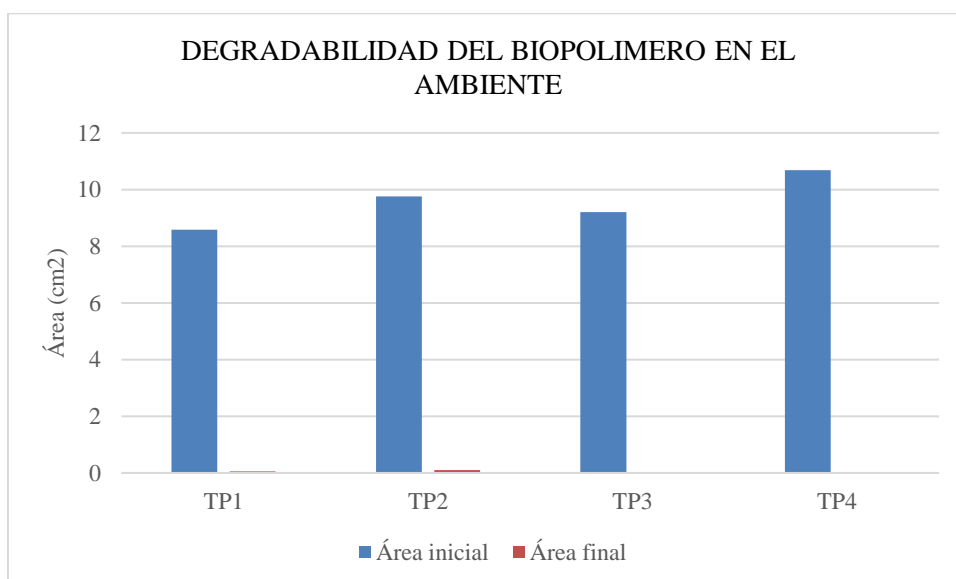
Los tratamientos TP2, TP3, TP4, su porcentaje es del 60,52%, 59,50%, 58,42%; el TP1 con el 80,86%; Se encontraron valores superiores al encontrado por Chariguamán (2015), en su investigación Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.) 54.76% de solubilidad en este estudio, datos muy similares fueron repostados por (Failey, 1996) en la solubilidad del bioplástico de aislado proteico de suero de leche con valores encima de 50% del material solubilizado, en bioplásticos a base de aislado proteico de soja, con solubilidad entre 26.81% a 39.41% (Kunte. 1997) y en bioplásticos a base de gluten de trigo presentaron una solubilidad de 31,5 a 100% (Ciontard. 1991). (Chariguamán, 2015)



**Gráfico 12-3.** Solubilidad del bioplástico

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Los ensayos de degradabilidad en el ambiente de los biopolímeros se realizaron con muestras de los 4 tratamientos, las áreas iniciales fueron: TP1 8,586 cm<sup>2</sup>; TP2 9,757 cm<sup>2</sup>; TP3 9,200 cm<sup>2</sup>; TP4 10,687 cm<sup>2</sup>; transcurridos 15 días iniciales se observó una reducción considerable en su tamaño TP1 1,49 cm<sup>2</sup>; el TP2 2,05 cm<sup>2</sup>; TP3 1,49 cm<sup>2</sup>; TP4 1,62 cm<sup>2</sup>; transcurrido los 45 días la degradación del biopolímero se dio casi en su totalidad, obteniéndose las siguientes áreas: TP1 0,050 cm<sup>2</sup>; el TP2 0,096 cm<sup>2</sup>; TP3 0,032 cm<sup>2</sup>; TP4 0,037 cm<sup>2</sup> es decir la degradabilidad promedio de los 4 tratamientos fue del 100%.

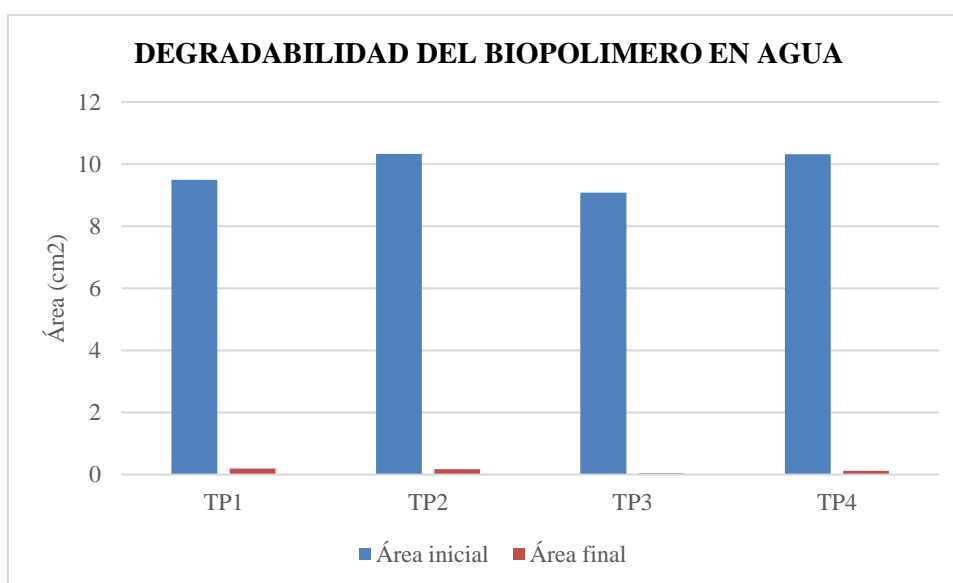


**Gráfico 13-3.** Degradabilidad del bioplástico al ambiente

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy



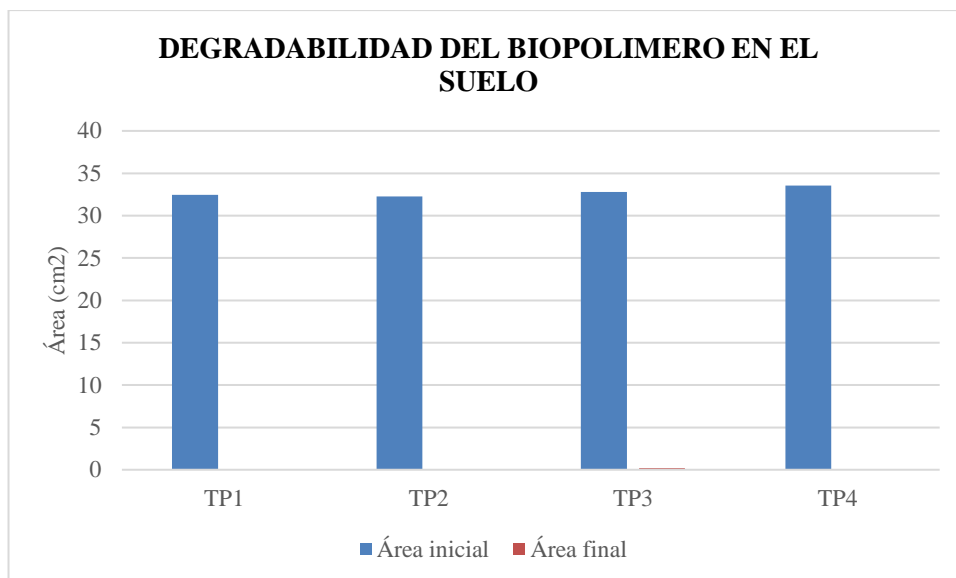
Los ensayos de degradabilidad en el agua se realizaron con áreas iniciales de TP1 9,49 cm<sup>2</sup>; TP2 10,33 cm<sup>2</sup>; TP3 9,08 cm<sup>2</sup>; TP4 10,32 cm<sup>2</sup>; transcurridos 15 días iniciales se observó una reducción de tamaño poco considerable, los resultados fueron TP1 7,14 cm<sup>2</sup>; el TP2 8,07 cm<sup>2</sup>; TP3 6,21 cm<sup>2</sup>; TP4 7,44 cm<sup>2</sup>; transcurrido los 240 días la degradación del biopolímero se dio casi en su totalidad, obteniéndose las siguientes áreas: TP1 0,19 cm<sup>2</sup>; el TP2 0,18 cm<sup>2</sup>; TP3 0,03 cm<sup>2</sup>; TP4 0,13 cm<sup>2</sup>; los tratamientos TP3 y TP4 fueron los que se degradaron casi al 100% seguido de los tratamientos restantes.



**Gráfico 14-3.** Degradabilidad del bioplástico al suelo

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

Los ensayos de degradabilidad en el suelo se realizaron con áreas iniciales de TP1 32,43 cm<sup>2</sup>; TP2 32,27 cm<sup>2</sup>; TP3 32,81 cm<sup>2</sup>; TP4 33,53 cm<sup>2</sup>; transcurridos 15 días iniciales se observó una reducción de tamaño considerable, los resultados fueron TP1 6,43 cm<sup>2</sup>; el TP2 8,02 cm<sup>2</sup>; TP3 10,11 cm<sup>2</sup>; TP4 6,37 cm<sup>2</sup>; transcurrido los 60 días la degradación del biopolímero se dio casi en su totalidad, obteniéndose las siguientes áreas: TP1 0,03 cm<sup>2</sup>; el TP2 0,08 cm<sup>2</sup>; TP3 0,18 cm<sup>2</sup>; TP4 0,03 cm<sup>2</sup>; todos los tratamientos transcurridos los 60 días tienen residuos de biopolímero de tamaño despreciable.



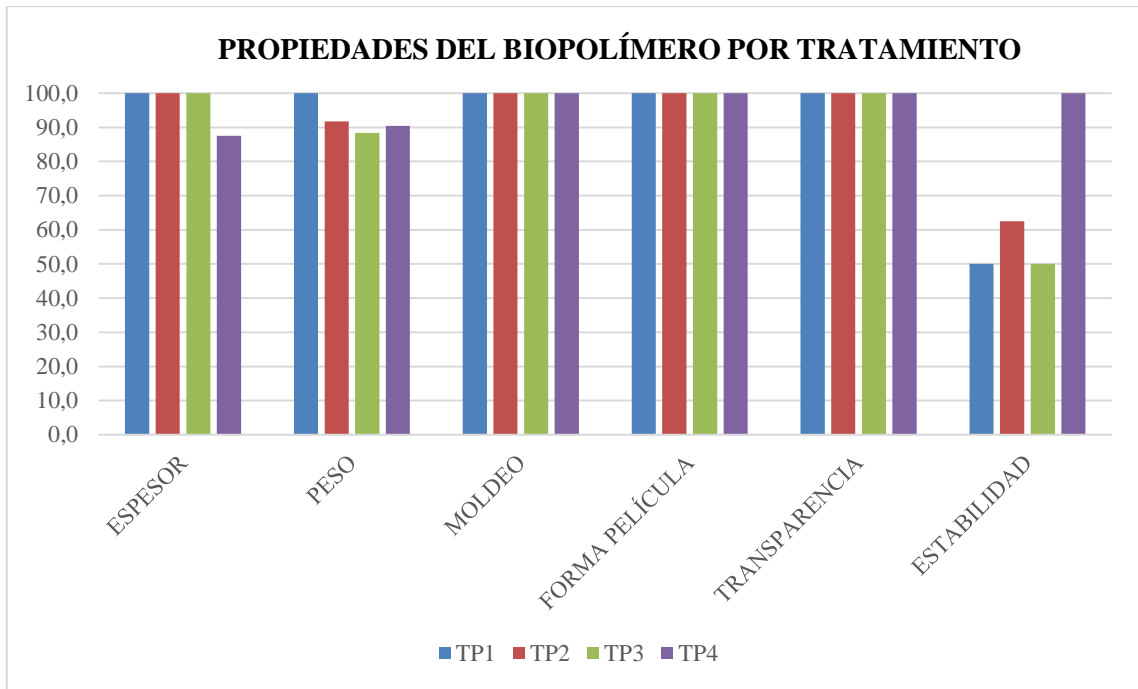
**Gráfico 15-3.** Degradabilidad del bioplástico al suelo

Realizado por: Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.4 Prueba de hipótesis

#### 3.4.1 Hipótesis 1

El almidón de la cáscara de trigo, cumplió con el objetivo planteado en la investigación, en los 4 tratamientos se obtuvo un biopolímero, que cumple con las características físicas tres tratamientos tienen un promedio de espesor de 0,2 mm; el peso promedio entre 1,35 y 1,91 gramos; todos los ensayos son moldeables y permite la formación de la película; la degradación es adecuada por acción del agua, el ambiente y el suelo; en lo referente a la estabilidad en tratamiento TP1 sus características son estables en el 100% mientras en el tratamiento TP4 un ensayo es frágil. Los bioplásticos deben presentar opacidad y colores atractivos y no deben ser alterados durante el tiempo de almacenamiento (Rocha. 2009). Los TP1, TP2, TP3, TP4, su color es transparente sin cambios al tiempo en el almacenamiento.

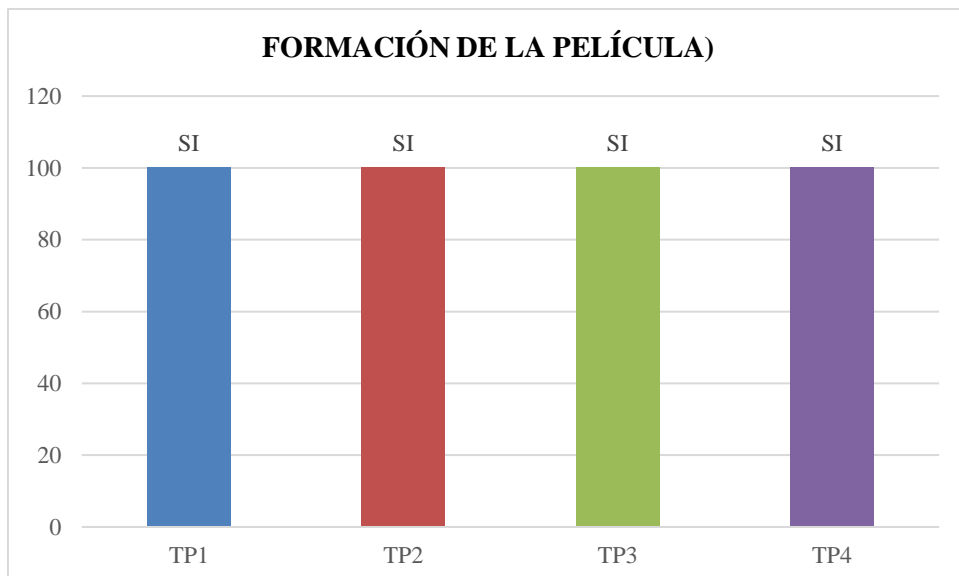


**Gráfico 16-3.** Propiedades del biopolímero

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### 3.4.2 Hipótesis 2

La mezcla de plastificante agua, glicerina, ácido acético como modificador químico y almidón obtenido de la cáscara del trigo, permite la formación de biopelículas con un espesor de entre 0,186 mm a 0,2 mm. Gráfico 17-3.



**Gráfico 17-3.** Formación de la biopelícula

**Realizado por:** Cunalata Gallegos Jenny Leidy

### **3.4.3 Hipótesis 3**

La elaboración de un biopolímero responde a la combinación de cantidades adecuadas de almidón de la cáscara de trigo 4 g. y glicerina 2 mL. se forma biopelículas; los tratamientos que cumplen con el análisis físico químico son TP1, TP2, TP3; el tratamiento TP4 presenta defectos en grosor permeabilidad.

### **3.4.4 Hipótesis 4**

La planificación técnica permite el desarrollo de ensayos para elaborar un biopolímero, desde la selección y acondicionamiento de la materia prima, con procesos y etapas de inspección para corregir inconvenientes; permitiendo estandarizar el proceso hasta la obtención del polímero. Se consideró como referente el proceso seguido en la producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum* por (Brito, et al., 2019)

### **3.4.5 Hipótesis 5**

Los bioplásticos deben presentar opacidad y colores atractivos y no deben ser alterados durante el tiempo de almacenamiento. Siendo una propiedad muy importante en el uso del bioplástico como revestimiento de un alimento o como embalaje de alimentos (Gontard et al.,1992). De acuerdo con (Oliveira, 2007) se requieren bioplásticos más atractivos y claros para revestimientos, para mantener las características originales del producto y también es deseable una mayor opacidad para mantener las características del producto que son más sensibles a la luz. Los ensayos E1, E2 del TP1; E2 del TP2; E3 del TP3; por los resultados obtenidos se pueden considerar como alternativas para emplear como alternativa de plástico degradable.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- El almidón de la cáscara de trigo presenta una humedad de 11,12%; ceniza 0,10 %; solubilidad 0,49%, viscosidad 873 cps, temperatura de gelatinización 68 °C, contenido de amilosa de 24,33% y amilopectina de 57,75%.
- Se obtuvo el biopolímero mediante un diseño factorial 2<sup>k</sup> variando en dos niveles los gramos de almidón (4 y 6 g.) y la cantidad de plastificante (2 y 3 mL).
- El mejor tratamiento para la obtención del almidón es T1 y tiene un rendimiento de 21,31%.
- Luego del análisis estadístico realizado se determina que el valor de la probabilidad es 0,07% > 0,05% se determina que no existe diferencia significativa en los tratamientos, aceptando la Ho.
- El mejor tratamiento en la obtención de las biopelículas fue el TP1 en el cual se usó 6 g de almidón y 3mL de plastificante, presentaron mejores propiedades de flexibilidad, estabilidad y transparencia.
- Las características físicas, químicas y mecánicas del mejor biopolímero obtenido mediante el tratamiento (TP1) fueron humedad 12,23%, solubilidad 80,86 %, permeabilidad 1,84E-06 gmh, espesor de 0,2 mm, módulo de elasticidad 3,42E+03 Mpa.
- El tratamiento que dio mejores resultados en la degradabilidad en el ambiente fue el TP3 degradándose al 100% a los 45 días.
- La degradación del biopolímero en el agua obtuvo mejores resultados con el tratamiento TP3 obteniéndose el 100% de la degradación dentro de los 240 días.
- La degradación en el suelo obtuvo un 99,91% en los 60 días con el tratamiento TP4.

### **RECOMENDACIONES**

- Incrementar los días de sedimentación para obtener un mejor rendimiento del almidón
- Homogenizar correctamente los ingredientes formulados para la obtención del biopolímero con el fin de evitar la formación de gránulos.
- Utilizar un almidón de cascara de trigo con un tamaño menor a 53  $\mu\text{m}$
- Someter el biopolímero a pruebas de moldeo para determinar la factibilidad de empleo en procesos industriales como envase o envoltura

## BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, Harold , VILLADA, Héctor y PRIETO, Pedro.** "Estructura cristalina del ácido poliláctico recocido y su relación con el procesamiento". *Tecnología*, 17(3), (2006), (Colombia), pp. 71-78.
- AVELLÁN, A., et al.** *Polímeros*. 7ª ed. Portoviejo : Latindex, ROAD, MIAR, 2020.
- BADUI, Salvador y PEDROZA, Ruth.** *Química de los alimentos*. 5ª ed. México : Pearson Educación, 2013, pp. 1-713.
- BASTIOLI, C.** "Biodegradable material for various applications. Biopolymers". *General Aspeéis and Special*, (2013), (Colombia), pp. 456-512.
- BASTIOLI, Catia.** "Situación mundial de la producción de materiales de embalaje de base biológica". *Almidón - Stärke* 53(8), (2001), (México), pp. 123-223.
- BELTRÁN, Maribel y MARCILLA, Antonio.** *Tecnología de polímeros : procesado y propiedades*. España: Pearson , 2012, pp. 276.
- BENAVIDES, C.** *Quitina-Quitosana: Los polímeros del futuro*. SENA-CDT. Cali : Regional Valle, 2002. pp. 61-75.
- BILIADERIS, C.** "Structures and paste transitions of starch in food systems". *Food Technology*, (1992), (España), pp. 98 -109.
- BILLMEYER, Fred.** *Ciencia de los polímeros*. Barcelona : Reverté S.A, 2004, pp. 345.
- BONJEAN, AP y ANGUS , WJ.** *El libro mundial del trigo. Una historia de mejoramiento de trigo*. París : Laroisier Publishing y Andover, 2001, pp. 241.
- CALLISTER, William.** *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona : Reverté, 2020, pp. 421.
- CASTELLS, Pere .** *El almidón* [Blog]. [Consulta: 14 junio 2020]. Disponible en: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>.
- CHO, Seung.** "Características de sorción de las películas de proteína de soja y su relación con las propiedades mecánicas. *Biopelículas*, (2002), (México), pp. 151-157.
- DENDY, D y DOBRASZCZYK, B.** *Cereales y Productos Derivados*. Zaragoza : Editorial Acibia, 2003. pp.412.
- DIAZ , Luis.** Rendimiento y caracterización de almidón de frutos de castano [Blog]. [Consulta: 14 junio 2020]. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CL1999000137>
- EL DIARIO.EC.** EL DIARIO.EC [Blog]. [Consulta: 25 junio 2020]. Disponible en:<https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/437763-la-produccion-de-trigo-no-abastece-al-mercado/>.

- ENRÍQUEZ, Mario, VELASCO, Reinaldo y ORTIZ, Vicente.** "Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10(1), (2012), (México), pp. 182 - 192.
- FAO.** Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. [Blog]. [Consulta: 04 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>.
- FAO.** Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. Nutrición humana en el mundo en desarrollo [Blog]. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>.
- FAO/OMS.** Alimentos Producidos Orgánicamente [Blog]. [Consulta: 28 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <http://www.fao.org/3/Y2772S/y2772s00.htm#Contents>.
- FAOSTAT. 2001.** *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma, Italy : FAO Database, 2001.
- FERNANDEZ, D., y et al.** "Agro-industrial oily wastes as substrates for PHA production by the new strain *Pseudomonas aeruginosa* NCIB 40045". *Effect of culture conditions*, (2005), (México), pp. 159-167.
- FRITZ, S., BOLZ, U., y JUZA, M.** *Estudio sobre producción de termoplásticos y fibras basadas principalmente en materiales biológicos*. España : Comisión Europea, 1994.
- GAMAGAE, S ., SIVAKUMAR, D y WIJESUNDERA, R.** "Evaluación de poscosecha aplicación de fórmula de cera incorporada con bicarbonato de sodio y *Candida oleophila* para el control de antracnosis de papaya". *Enviromental*, (2004), (Colombia), pp. 575-579.
- GARCÍA, ALMA .** Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz [Blog]. [Consulta: 05 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>.
- GARCÍA, M., et al. 2004..** "Characterization of composite hydrocolloid films". *Carbohydrate Polymer*, 2004, (México), pp. 339-345.
- GARCÍA, Miguel .** "Ciencia y Tecnología de los Alimentos". *Tecnología de cereales*, (2010), (Colombia), pp. 345-421.
- GUAMÁN, Jenny.** "Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras de papa para su aplicación industrial". *Perfiles*, (2019), (Ecuador), pp. 213-314.
- GUTIERREZ, Tania.** "Generalidades y tendencias de investigacion en Colombia". *Polimeros*, (2019), ( Cauca), pp. 245-310.
- GUY, Robin y IBARZ, Alberto.** *Extrusión de los alimentos. tecnología y aplicaciones*. Zaragoza : Acribia, 2002.
- HERNÁNDEZ, Manuel y SASTRE, Ana.** *Tratado de nutrición*. Madrid : Díaz de Santos, 1999.
- HERNÁNDEZ, Marilyn, TORRUCO, Juan y CHEL, Luis.** "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán". *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, (2008), (México), pp. 218-298.

**HERRERA, Carlos, BOLAÑIS, Nuria y LUTZ, Giselle.** *Química de alimentos*. Costa Rica: Acibia, 2010.

**INEC.** Seis cultivos con mayor producción en Ecuador [Blog]. [Consulta: 05 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/2018-seis-cultivos-con-mayor-produccion-en-ecuador/>.

**INFOAGRO.** El cultivo del trigo [Blog]. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en <http://canales.hoy.es/canalagro/datos/herbaceos/cereales/trigo.htm#:~:text=El%20trigo%2C%20como%20los%20dem%C3%A1s,como%20Triticum%20aestivum%2C%20subespecie%20vulgaris..>

**INFOAGRO-AGRI.** El cultivo del trigo [Blog]. [Consulta: 02 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>.

**INIAP.** El trigo. [Blog]. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rtrigo>.

**JANSSON, Agneta y THUVANDER, Fredrik .** "Influencia del espesor en las propiedades mecánicas de las películas de almidón". *Polimeros*, (2004), (Cali), pp. 99-503.

**KHEMANI, Kishan, SCHMIDT, Harald y HODSON, Simon.,** *Biodegradable films and sheets, suitable for use as coatings, wraps and packaging materials*. Santa Bárbara : United States Patent, 2007.

**KROCHTA, J., BALDWIN, E y Nisperos M.,** *Revestimientos y películas comestibles para mejorar la calidad de los alimentos*. New York : Tecnómico Publishing Company, 1994.

**La Hora.** Los productos agrícolas más destacados [Blog]. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101332348/los-productos-agricolas-ms-destacados>.

**LAZARIDOU, Athina, BILIADERIS, Costas y KONTOGIORGOS, Vasileios.** "Efectos del peso molecular sobre la reología en solución del pululano y las propiedades mecánicas de sus películas". *Enviromental*, ( 2003), (México), pp. 151-166.

**LEE, Kwang, SHIM, Jaeyong y LEE, Hyeon.** "Polímeros de carbohidratos", *Polimeros* 56 (2), (2004), (Canadá), pp. 251-254.

**LORCKS, J., et al.** "Mezclas poliméricas biodegradables basadas en almidón termoplástico". *Polimetros*, (1988), (México), pp. 321-451.

**LUC .** "Revista de ciencia macromolecular". *Reseñas de polímeros*, 44(1), (2004), (Colombia), pp. 231-274.

**MAGAP.** La política agropecuaria ecuatoriana, hacia el desarrollo territorial rural sostenible [Blog]. [Consulta: 17 noviembre 2020]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu183434.pdf>.



- MARTÍN, Eduardo y RAMÍREZ, Marco.** "Avances de investigación en Nanociencias". *Micro y Nanotecnologías*. Barcelona : Omnia Science, 2020.
- MARTÍN, Elvia, et al.** Pan y Cereales [Blog]. [Consulta: 21 julio 2020]. Disponible en <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM009392.pdf>.
- MATSUI, K ., et al.** "Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties". *Polimeros*, ( 2004), ( Ecuador), pp. 237-243.
- MARTÍNEZ, O., et al.** "Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador". *Rev. Colomb. Quim.* 44(2), (2015), (Colombia), pp. 16-21.
- MENESES, Catalina y VALENCIA, Marco.** "Sistemas multifásicos biodegradables basados en almidón plastificado". *Polimeros*, (2007), (México), pp. 45-59.
- MENESES, Juliana , CORRALES, Catalina y VALENCIA, Marco.** "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Polimeros*, ( 2007), (México), pp. 25-49.
- MORENO, Ángel, et al.** *Polimeros*, 13ª ed. México : Ra Ximhai, 2017.
- NÚÑEZ, Marcia.** "Obtención de bioplástico a partir del almidón de maíz (*Zea mays* L.)". *Polimeros*, (2010), (Ecuador), pp. 78-102.
- NURUL, I., MOHD, B. y MANAN, D.** *Química de Alimentos*. México: Pearson, 1991, pp. 501-505.
- OSCA, José.** "Películas de almidón de papa reforzadas con celulosa bacteriana". *Revista RECITEIA* 11(1), (2013), (Valencia), pp. 65-79.
- PARRA, Duclerc , TADINI, Carmen y LUGAO, Ademar.** "Polímeros de carbohidratos". *Polimeros* 58 (4), (2004), (Mexico), pp. 475-481.
- PESIS, Edna .** "El papel de los metabolitos anaeróbicos, acetaldehído y etanol, en la maduración del fruto, mejora de la calidad del fruto y deterioro del fruto". *Polimeros*, (2005), (México), pp. 1-19.
- PHILIPPE, D.** *Ingeniería de Alimentos*. Cali-Colombia: Princeton University Press, 1995.
- PIZÁ, Hamlet, et al.** "Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura". *Ingeniería Industrial y de Sistemas*, (2017), (Perú), pp. 123-214.
- RENDÓN, Rodolfo , et al.** Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) acetilado a diferentes grados de sustitución [Blog]. [Consulta: 21 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269205/356773>.
- RHIM, Jong .** "Progreso en la ciencia de los polímeros". *Biopelículas*, (2013), (Colombia), pp. 1629-1652.

- RODRÍGUEZ, Manuel.** *Envasado y empaquetado de productos alimentarios.* Málaga : ic Edictorila, 2017.
- RODRIGUEZ, Manuel .** *Envasado y empaquetado de productos alimenticios.* Málaga : IC Editorial, 2013.
- RODRÍGUEZ , Víctor y MAGRO, Edurne.** *Bases de la alimentación humana.* La Coruña Netbiblo : Oleiros, 2008.
- RODRÍGUEZ, Víctor y SIMÓN, Edurme.** *Bases de la alimentación humana.* La Coruña : Netbiblo, 2008.
- RUIZ, Gladis.** "Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Ingeniería y Ciencia* ,(2006), (México), pp. 45-56.
- SALAZAR, María.** Biopolimeros [Blog]. [Consulta: 25 julio 2020]. Disponible en: <http://mariapaulinasalazar.blogspot.com/2014/10/biopolimeros.html>.
- SANZ, J.** *Multiscale simulation of bone regeneration in tissue.* Colombia : Reverté, D.L. 2008.
- SEYMOUR, Raymond y CARRAHER, Charles .** *Introducción a la química de los polímeros.* Barcelona : Reverté, D.L. , 1995.
- STEVENS, E.** *Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. .* New Jersey: : Princeton University Press, 2002.
- STUPP, S y BRAUN, P.** "Role of Proteins in Microstructural Control". *Biomaterials, Ceramics & Semiconductora, Science.*,. (1997), (Texas), pp. 456-532.
- TÁBI, Tamás , et al.** "Polimeros". *Polymer Letters* 4 (10), (2010), (México), pp. 659-668.
- THARANATHAN, R.** "Biodegradable films and composite coatings: past, present and l'ulure". *Critical Review in Food Science and Technology* 14(1), (2003), ( Colombia), pp. 71-78.
- THARANATHAN, R.** "Bio-nanocomposites para aplicaciones de envasado de alimentos". *Trends in Food Science & Technology* 14(3), (2003), (México), pp. 71-78.
- THARANATHAN, Rudrapatnam.** "Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente". *Carbohidratos derivados de alimentos: complejidad estructural y diversidad funcional*, (2002), (México), pp. 65-84.
- VERDINI, Roxana .** Cereales y derivados [Blog]. [Consulta: 28 enero 2020]. Disponible en: <https://www.fbioyf.unr.edu.ar/>.
- VILLADA, Héctor y VELASCO, Reinaldo.** "Precusores de Productos Biodegradables". *Almidones Termoplásticos*, (2008), (Cauca), pp. 25-49.
- VILPOUX, O y AVEROUS, L.** "Plásticos a base de almidón. Tecnología, uso y potencialidades de América Latina". *Polimeros* (2004), (México), pp. 521-553.
- VIRGINIE, Manuel.** *Los caminos del reciclaje.* Barcelona : Ned ediciones, 2011.

**VITERI, María y TAPIA, Mauro. 2018.** Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio [Blog]. [Consulta: 28 enero 2020]. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p30.pdf>.

**WANG, L y WHITE, P.** "Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content". *Cereal Chemistry*, (1994), (México), pp.. 443-450.

**WHISTLER, Roy, BEMILLER, James y PASCHALL, Eugene.** *Almidón: química y tecnología*.. México: Academic Press, 1984.

**YARA.** Biopolimeros [Blog]. [Consulta: 10 abril 2020]. Disponible en: <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/trigo/clasificacion-de-trigo/>.

**YU, Long.** "Biodegradable polymer". *Cereal Chemistry* 68(1), (2008), (México), pp. 1453-1462.




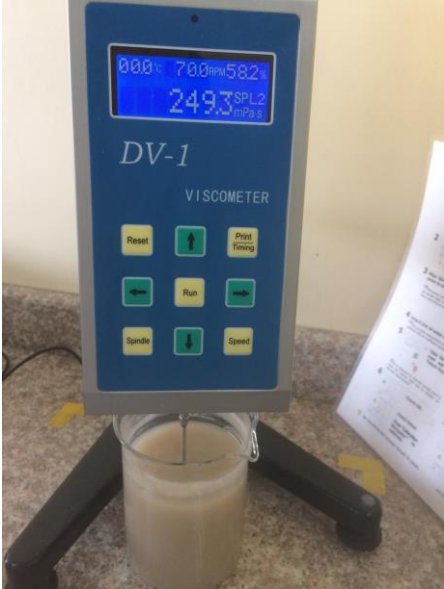
**ZHAO, J y WISTLER, R.** "Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers". *Food Technology*, (1994), (Colombia), pp. 78-94.

**ANEXOS**




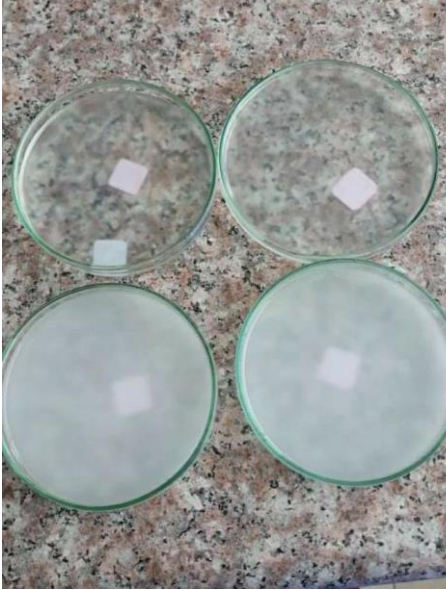
**ANEXO A: OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE LA CASCARA DE TRIGO**

|  |   |  |  |   |
|--|---|--|--|---|
|  <p style="text-align: center;">A</p> |  <p style="text-align: center;">B</p>     |  <p style="text-align: center;">C</p> |  <p style="text-align: center;">D</p> |   |
| <p><b>NOTAS</b></p>  | <p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>QUÍMICA<br/>JENNY CUNALATA</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE LA CASCARA DE TRIGO</b></p>                                    |  |   |
| <p>A) Peso de la materia prima<br/>B) Licuado de la materia prima</p>  |   | <p style="text-align: center;"><b>LÁMINA</b></p>   | <p style="text-align: center;"><b>ESCALA</b></p>   | <p style="text-align: center;"><b>FECHA</b></p> |
| <p>C) Decantación<br/>D) Almidón de la cascara de trigo</p>  |   | <p style="text-align: center;">1</p>   | <p style="text-align: center;">1:1</p>   | <p style="text-align: center;">22/09/2020</p>   |


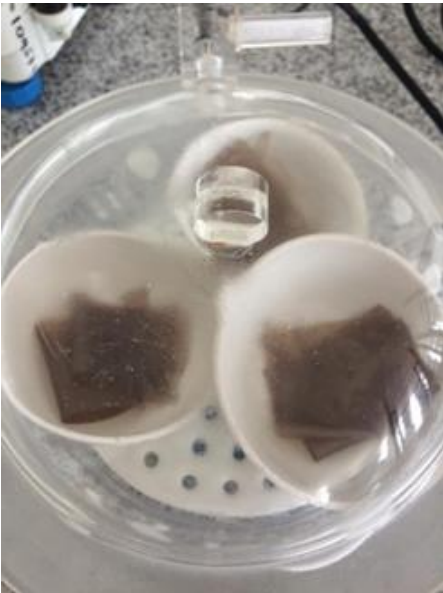
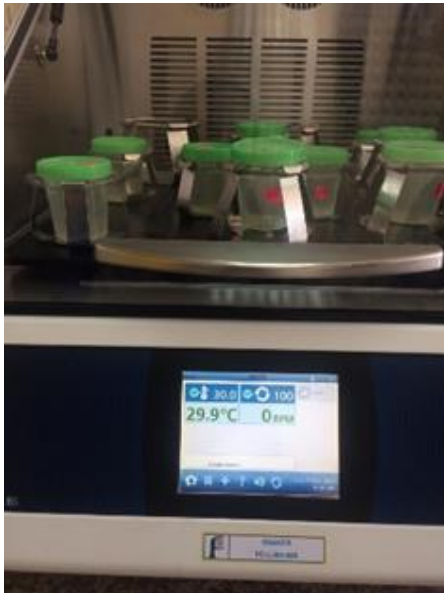

**ANEXO B: ANÁLISIS DEL ALMIDON OBTENIDO DE LA CASCARA DE TRIGO**

|   |  |   |   |                                    |
|---|--|---|---|------------------------------------|
|  <p align="center">A</p> |  <p align="center">B</p>     |  <p align="center">C</p> |  <p align="center">D</p> |                                    |
| <p><b>NOTAS</b></p>   | <p align="center"><b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>QUÍMICA<br/>JENNY CUNALATA</b></p> | <p align="center"><b>ANÁLISIS DEL ALMIDON OBTENIDO DE LA CASCARA DE TRIGO</b></p>                           |   |                                    |
| <p>A) Granulometría<br/>B) Análisis de cenizas<br/>C) pH<br/>D) Viscosidad del almidón</p>                |  | <p align="center"><b>LÁMINA</b></p>   | <p align="center"><b>ESCALA</b></p>   | <p align="center"><b>FECHA</b></p> |
|   |  | <p align="center">2</p>   | <p align="center">1:1</p>   | <p align="center">22/10/2020</p>   |

## ANEXO C: OBTENCIÓN DEL BIOPOLIMERO



|  <p style="text-align: center;">A</p>   |  <p style="text-align: center;">B</p> |  <p style="text-align: center;">C</p>   |  <p style="text-align: center;">D</p> |  |        |        |       |   |     |            |
|--|---|--|--|--|--------|--------|-------|---|-----|------------|
| <p><b>NOTAS</b></p> <p>A) Gelatinización del almidón</p> <p>B) Homogenización de los ingredientes</p> <p>C) Formación del biopolímero</p> <p>D) Biopolímeros formados en las cajas Petri</p> | <p><b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>QUÍMICA<br/>JENNY CUNALATA</b></p>                         | <p><b>OBTENCIÓN DEL BIOPOLIMERO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">LÁMINA</th> <th style="width: 25%;">ESCALA</th> <th style="width: 50%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">22/10/2020</td> </tr> </tbody> </table> |  |  | LÁMINA | ESCALA | FECHA | 3 | 1:1 | 22/10/2020 |
| LÁMINA   | ESCALA  | FECHA  |  |  |        |        |       |   |     |            |
| 3  | 1:1   | 22/10/2020   |  |  |        |        |       |   |     |            |

## ANEXO D: ANÁLISIS DEL BIOPOLIMERO

|   |   |  |  |   |
|---|---|--|--|---|
|  <p style="text-align: center;">A</p>  |  <p style="text-align: center;">B</p> |  <p style="text-align: center;">C</p> |  <p style="text-align: center;">D</p> |   |
| <p><b>NOTAS</b></p> <p>A) Peso del biopolímero obtenido</p> <p>B) Análisis de Humedad</p> <p>C) Análisis de solubilidad</p> <p>D) Análisis de permeabilidad</p> | <p><b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>QUÍMICA<br/>JENNY CUNALATA</b></p>                         | <p><b>ANÁLISIS DEL BIOPOLIMERO</b></p>   |  |   |
|   |   | <p><b>LÁMINA</b></p> <p style="text-align: center;">4</p>  | <p><b>ESCALA</b></p> <p style="text-align: center;">1:1</p>  | <p><b>FECHA</b></p> <p style="text-align: center;">22/10/2020</p> |

## ANEXO E: ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE POLISACARIDOS

MC-LSAIA-2201-04

|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <p><b>INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b><br/> <b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b><br/> <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD</b><br/> <b>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS</b><br/>                 Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTfts. 2690691-3007134. Fax 3007134<br/>                 Casilla postal 17-01-340</p> |  |
|---|--|---|

**INFORME DE ENSAYO No: 20-090**

|   |  |                                |
|---|--|--------------------------------|
| <b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Srta. Lady Jenny Cunalata     | <b>INSTITUCION:</b> Particular             |                                |
| <b>DIRECCION:</b> Riobamba                                | <b>ATENCION:</b> Srta. Lady Jenny Cunalata |                                |
| <b>FECHA DE EMISION:</b> 28/10/2020                       | <b>FECHA DE RECEPCION.:</b> 15/10/2020     |                                |
| <b>FECHA DE ANALISIS:</b> Del 15 al 28 de octubre de 2020 | <b>HORA DE RECEPCION:</b> 08H00            |                                |
|   | <b>ANALISIS SOLICITADO</b>                 | Almidón, Amilosa, Amilopectina |

| ANÁLISIS           | ALMIDÓN                   | AMILOSA                   | AMILOPECTINA |  |  | IDENTIFICACIÓN   |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--|--|------------------|
| <b>METODO</b>      | MO-LSAIA-04               | MO-LSAIA-04               |              |  |  |                  |
| <b>METODO REF.</b> | Morrison y Laignelet 1983 | Morrison y Laignelet 1983 |              |  |  |                  |
| <b>UNIDAD</b>      | %                         | %                         | %            |  |  |                  |
| 20-0648            | 82,07                     | 24,33                     | 57,75        |  |  | Almidón de trigo |
|                    |                           |                           |              |  |  |                  |

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

**RESPONSABLES DEL INFORME**

  
**Dr. Iván Samanlego**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



  
**Ing. Bladimir Ortiz**  
**RESPONSABLE CALIDAD**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

**NOTA DE DESCARGO:** La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.



## ANEXO F: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL BIOPOLIMERO

### RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS DE ALMIDONES

|  |
|--|
| NOMBRE: Jenny Leidy Cunalata Gallegos        |
| TIPO DE MUESTRA: Almidón de cáscara de Trigo |
| FECHA DE ENTREGA: 06 de noviembre del 2020   |

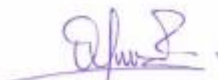
#### Examen Físico del almidón de cáscara de Trigo

|                   |
|-------------------|
| COLOR: Beige      |
| OLOR: Inoloro     |
| ASPECTO: Granular |

#### Examen Bacteriológico

| CÁSCARA DE TRIGO                                  |          |                        |            |
|---|----------|------------------------|------------|
| Determinaciones                                   | Unidades | *Valores de referencia | Resultados |
| Coliformes Totales                                | UFC/g    |                        | Ausencia   |
| Coliformes Fecales<br>( <i>Escherichia Coli</i> ) | UFC/g    | < 10                   | Ausencia   |
| Mohos y levaduras                                 | UFC/g    | 1 000- 5 000           | 4000       |

Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO).




Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

## ANEXO G: ENSAYO DE TRACCIÓN

| <b>INFORME DE RESULTADOS</b>                             |  |
|--|--|
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>                                |  |
| Denominación: RG 18 - 1                                  |  |
| N° 01  |  |
| SOLICITADO POR:  | Jenny Leidy Cansata Gallegos   |
| PROYECTO DE TESIS:                                       | "ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE TRIGO (TRITICUM AESTIVUM L.)" |
| DIRECCIÓN:   | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. INGL. QUÍMICA   |
| TIPO DE MATERIAL:  | BIOPLASTICO - CÁSCARA DE TRIGO   |
| MATERIAL:  | LÁMINA DE PLÁSTICO   |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                                    | 2020 - 11  |
| NORMA UTILIZADA:   | NTE INEN 2635-012  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 25-nov-20  |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW100B |  |
| MARCA: JENAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD        |  |
| SERIE: 7176  | CERTIFICADO: LAM-P-201650006 CÓD IDENT: M2   |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL                                 | A - C. Trigl   |
| CARACTERÍSTICA   | TRANSPARENTE   |
| ESPESOR [mm]   | 0.14   |
| ANCHURA [mm]   | 6.58   |
| LONGITUD INICIAL [mm]                                    | 25.00  |
| SECCIÓN TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]                   | 0.92   |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]                              | 2.423 E+00   |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                                    | 0.77   |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]                               | 0.84   |
| CARGA MÁXIMA [N]   | 0.79   |
| ESFUERZO MÁXIMO [MPa]                                    | 0.86   |
| PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]                             | 26.60  |
| OBSERVACIONES:   |  |

Aprobado por:


  
 Ing. Anibal Viñán B. MsC.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS                                    |  |
|--|--|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                                       |  |
| Denominación: RG 18 - 1                                  |  |
| Nº 02  |  |
| SOLICITADO POR:  | Jenny Leidy Castañeda Gallegos   |
| PROYECTO DE TESIS:                                       | "ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE TRIGO (TRITICUM AESTIVUM L.)" |
| DIRECCIÓN:   | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  |
| TIPO DE MATERIAL:  | BIOPLÁSTICO - CÁSCARA DE TRIGO   |
| MATERIAL:  | LÁMINA DE PLÁSTICO   |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                                    | 2020 - 11  |
| NORMA UTILIZADA:   | NTE INEN 2635-012  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 25-nov-20  |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW6001 |  |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD        |  |
| SERIE: 7136  | CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2   |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL                                 | A - C.Trig2  |
| CARACTERÍSTICA   | TRANSPARENTE   |
| ESPESOR [mm]   | 0.17   |
| ANCHURA [mm]   | 6.39   |
| LONGITUD INICIAL [mm]                                    | 25.00  |
| SECCIÓN TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]                   | 1.09   |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]                              | 2.902.E+00   |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                                    | 0.60   |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]                               | 0.55   |
| CARGA MÁXIMA [N]   | 0.62   |
| ESFUERZO MÁXIMO [MPa]                                    | 0.57   |
| PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]                             | 17.67  |
| OBSERVACIONES:   |  |

Aprobado por:




Ing. Anibal Viñán B. MsC.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no es responsable por la reproducción o uso no autorizado de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS                  |  |
|--|--|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                     |  |
| Denominación: RG 18 - 1                |  |
| N° 02                                  |  |
| SOLICITADO POR:                        | Jenny Leidy Cuzalana Gállegos  |
| PROYECTO DE TESIS:                     | ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE TRIGO (TRITICUM AESTIVUM L.) |
| DIRECCIÓN:                             | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  |
| TIPO DE MATERIAL:                      | BIOPLÁSTICO - CÁSCARA DE TRIGO   |
| MATERIAL:                              | LÁMINA DE PLÁSTICO   |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                  | 2020 - 11  |
| NORMA UTILIZADA:                       | NTE INEN 2635-012  |
| FECHA DE ENSAYO:                       | 25-mar-20  |
| EQUIPO UTILIZADO:                      | MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW0008   |
| MARCA:                                 | JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD   |
| SERIE:                                 | 7136   |
| CERTIFICADO:                           | LNM-F-201650006  |
| CÓD IDENT:                             | M2   |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:              | A - C.Trig2  |
| CARACTERÍSTICA:                        | TRANSPARENTE   |
| ESPESOR [mm]                           | 0.17   |
| ANCHURA [mm]                           | 6.39   |
| LONGITUD INICIAL [mm]                  | 25.00  |
| SECCIÓN TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ] | 1.09   |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]            | 2.902.E+00   |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                  | 0.60   |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]             | 0.55   |
| CARGA MÁXIMA [N]                       | 0.62   |
| ESFUERZO MÁXIMO [MPa]                  | 0.57   |
| PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]           | 17.67  |
| OBSERVACIONES:                         |  |

Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no es responsable por la reproducción  
 parcial o total de este documento.

1/1