



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS**

**“COMPARACIÓN DE DIFERENTES DOSIFICACIONES PARA LA  
OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DE ALMIDÓN  
DE QUINUA”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN INDUSTRIAS PECUARIAS**

**AUTORA: DANIELA IRENE LOOR CRUZ**

**DIRECTOR: Dr. JUAN MARCELO RAMOS FLORES MSc.**

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Daniela Irene Loor Cruz**

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, Daniela Irene Loor Cruz, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora 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, 25 de agosto del 2023

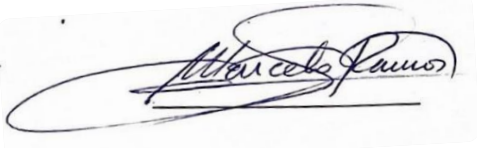


**Daniela Irene Loor Cruz**

**060427342-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Trabajo Experimental, “**COMPARACIÓN DE DIFERENTES DOSIFICACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DE ALMIDÓN DE QUINUA**”, realizado por la señorita: **DANIELA IRENE LOOR CRUZ**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Paola Fernanda Arguello Hernández Ms. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-08-25
Dr. Juan Marcelo Ramos Flores MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-08-25
Bf. Nora Tahiri Mejía Cabezas MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-08-25

## **DEDICATORIA**

Mi Trabajo de Titulación va dedicado a mi hijo Byron Daniel que ha sido mi compañero y uno de los principales motivos para concluir mi carrera universitaria.

Daniela

## **AGRADECIMIENTOS**

Hago extensivo mi agradecimiento a Dios por ser mi completa guía, a mi familia que me ha sido un apoyo, a mis docentes por impartirme sus conocimientos y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme ser parte de la institución y otorgarme el título universitario.

Daniela

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Quinua.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. <i>Descripción</i> .....	3
1.1.2. <i>Usos de la quinua</i> .....	3
1.1.2.1. <i>Quinua perlada</i> .....	3
1.1.2.2. <i>Harina cruda de quinua</i> .....	3
1.1.2.3. <i>Harina tostada de quinua</i> .....	4
1.1.2.4. <i>Hojuelas de quinua</i> .....	4
1.1.3. <i>Otros usos de la quinua</i> .....	4
<b>1.2. Almidón de quinua.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Almidón.....</b>	<b>5</b>
1.3.1. <i>Amilosa</i> .....	5
1.3.2. <i>Amilopectina</i> .....	6
<b>1.4. Hidrolisis del almidón.....</b>	<b>7</b>
1.4.1. <i>Procesos de hidrólisis del almidón</i> .....	7
<b>1.5. Tipos de almidón.....</b>	<b>8</b>
1.5.1. <i>AR 1 o almidón físicamente inaccesible</i> .....	8
1.5.2. <i>AR 2 o almidón crudo o cristalizado</i> .....	8
1.5.3. <i>AR 3 o retrogradado</i> .....	8
1.5.4. <i>AR 4 o modificado químicamente</i> .....	8
<b>1.6. Polímero.....</b>	<b>8</b>
<b>1.7. Biopolímeros.....</b>	<b>9</b>
1.7.1. <i>Tipos de biopolímeros</i> .....	9
1.7.1.1. <i>Biopolímeros de organismos vivos</i> .....	9
1.7.1.2. <i>Moléculas polimerizadas</i> .....	9

<b>1.7.2.</b>	<b><i>Ventajas de los biopolímeros</i></b> .....	9
<b>1.7.3.</b>	<b><i>Bioplásticos más comunes</i></b> .....	10
<b>1.7.3.1.</b>	<b><i>Biopropileno (BioPP)</i></b> .....	10
<b>1.7.3.2.</b>	<b><i>Biopolietileno (BioPe)</i></b> .....	10
<b>1.7.3.3.</b>	<b><i>Biopoliamida (PA)</i></b> .....	10
<b>1.7.3.4.</b>	<b><i>Ácido poliláctico (PLA)</i></b> .....	10
<b>1.7.3.5.</b>	<b><i>Polihidroxiácido alcanoato (PHA)</i></b> .....	11
<b>1.7.3.6.</b>	<b><i>Base de almidón</i></b> .....	11
<b>1.7.3.7.</b>	<b><i>Base en celulosa</i></b> .....	11
<b>1.7.4.</b>	<b><i>Biopolímeros basados en almidón</i></b> .....	11
<b>1.7.5.</b>	<b><i>Aditivos para la elaboración de un biopolímero</i></b> .....	11
<b>1.7.5.1.</b>	<b><i>Agua destilada</i></b> .....	11
<b>1.7.5.2.</b>	<b><i>Glicerina</i></b> .....	12
<b>1.7.5.3.</b>	<b><i>Carboximetil celulosa</i></b> .....	12
<b>1.7.5.4.</b>	<b><i>Ácido Acético</i></b> .....	12

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	13
<b>2.1.</b>	<b>Localización y duración del experimento</b> .....	13
<b>2.2.</b>	<b>Unidades experimentales</b> .....	13
<b>2.3.</b>	<b>Materiales, equipos e insumos</b> .....	13
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Reactivos</i></b> .....	13
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Materiales</i></b> .....	13
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Equipos de laboratorio</i></b> .....	14
<b>2.3.4.</b>	<b><i>Instalaciones</i></b> .....	14
<b>2.4.</b>	<b>Tratamientos y diseño experimental</b> .....	14
<b>2.5.</b>	<b>Metodología de evaluación</b> .....	15
<b>2.5.1.</b>	<b><i>Pruebas mecánicas</i></b> .....	15
<b>2.5.1.1.</b>	<b><i>Densidad</i></b> .....	15
<b>2.5.1.2.</b>	<b><i>Elasticidad</i></b> .....	15
<b>2.5.1.3.</b>	<b><i>Transparencia</i></b> .....	15
<b>2.5.2.</b>	<b><i>Caracterización química</i></b> .....	16
<b>2.5.2.1.</b>	<b><i>Grupos funcionales</i></b> .....	16
<b>2.5.3.</b>	<b><i>Caracterización funcional</i></b> .....	16
<b>2.5.3.1.</b>	<b><i>Solubilidad en agua</i></b> .....	16
<b>2.5.3.2.</b>	<b><i>Absorción del agua</i></b> .....	16



2.5.3.3.	<i>Temperatura de gelatinización</i> .....	16
2.6.	<b>Procedimiento experimental</b> .....	17
2.6.1.	<i>Proceso para la extracción de almidón de quinua</i> .....	17
2.6.2.	<i>Elaboración del biopolímero a base de almidón de quinua</i> .....	18
2.7.	<b>Mediciones experimentales</b> .....	19
2.7.1.	<i>Obtención del almidón</i> .....	19
2.7.1.1.	<i>Masa</i> .....	19
2.7.1.2.	<i>Granulometría</i> .....	19
2.7.2.	<i>Caracterización mecánica del biopolímero</i> .....	19
2.7.2.1.	<i>Densidad</i> .....	19
2.7.2.2.	<i>Elasticidad</i> .....	19
2.7.2.3.	<i>Transparencia</i> .....	20
2.7.3.	<i>Caracterización química</i> .....	20
2.7.3.1.	<i>Grupos funcionales</i> .....	20
2.7.4.	<i>Caracterización funcional del biopolímero</i> .....	20
2.7.4.1.	<i>Solubilidad del agua</i> .....	20
2.7.4.2.	<i>Absorción del agua</i> .....	20
2.7.4.3.	<i>Temperatura de gelatinización</i> .....	21

### CAPITULO III

3.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	22
3.1.	<b>Características de transparencia</b> .....	22
3.2.	<b>Caracterización química de grupos funcionales</b> .....	22
3.3.	<b>Características funcionales del biopolímero.</b> .....	28
3.3.1.	<i>Temperatura de gelatinización</i> .....	29
3.3.2.	<i>Densidad</i> .....	30
3.3.3.	<i>Absorción de agua</i> .....	32
3.3.4.	<i>Solubilidad en agua</i> .....	32
3.3.5.	<i>Elasticidad</i> .....	34

CONCLUSIONES	.....	36
--------------	-------	----

RECOMENDACIONES	.....	37
-----------------	-------	----

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Valor nutricional de la quinua .....	2
<b>Tabla 1-2:</b>	Diseño experimental.....	14
<b>Tabla 2-2:</b>	Tratamientos experimentales.....	15
<b>Tabla 1-3:</b>	Características de transparencia del biopolímero elaborado .....	22
<b>Tabla 2-3:</b>	Espectros FTIR de los bioplásticos obtenidos y sus picos representativos .....	23
<b>Tabla 3-3:</b>	Grupos funcionales identificados por FTIR y su interpretación.....	26
<b>Tabla 4-3:</b>	Características de los biopolímeros con diferentes niveles de agua .....	28
<b>Tabla 5-3:</b>	Características de los biopolímeros con diferentes niveles de glicerina.....	28
<b>Tabla 6-3:</b>	Características de los biopolímeros con diferentes niveles de agua-glicerina.....	29

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b>	Estructura química de la amilosa .....	6
<b>Ilustración 2-1:</b>	Estructura química de la amilopectina .....	6
<b>Ilustración 1-2:</b>	Diagrama de flujo de la extracción de almidón de quinua.....	17
<b>Ilustración 2-2:</b>	Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero.....	18
<b>Ilustración 1-3:</b>	Comparativa de espectros FTIR.....	27
<b>Ilustración 2-3:</b>	Temperatura de gelatinización de biopolímeros según niveles de glicerina	30
<b>Ilustración 3-3:</b>	Densidad de biopolímeros con la adición de diferentes niveles de agua .....	31
<b>Ilustración 4-3:</b>	Solubilidad en agua de biopolímeros según los niveles de glicerina. ....	33
<b>Ilustración 5-3:</b>	Elasticidad de biopolímeros según los niveles de glicerina.....	34

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN
- ANEXO B:** ELABORACIÓN DEL BIOPOLÍMERO
- ANEXO C:** PRUEBA DE GRANULOMETRÍA
- ANEXO D:** PRUEBAS DE GRUPOS FUNCIONALES
- ANEXO E:** PRUEBAS DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN
- ANEXO F:** PRUEBA DE ELASTICIDAD
- ANEXO G:** PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA
- ANEXO H:** PRUEBA DE SOLUBILIDAD EN AGUA
- ANEXO I:** DETERMINACIÓN DE TRANSPARENCIA
- ANEXO J:** TABLA RESUMEN PARA RESULTADOS
- ANEXO K:** TABLA DE RESULTADOS
- ANEXO L:** ESPECTROS FTIR

## RESUMEN

La presente investigación, se enfocó en la elaboración de algunos biopolímeros a base de almidón de quinua, donde se presentaron tres niveles de agua destilada (175, 200, 225 ml) que ayuda como hidratante y plastificante, tres niveles de glicerina (25, 20, 15 ml) que ayuda como plastificante, se adicione también ácido acético (19 ml), cuya función es actuar como estabilizante y modificador químico, por último se utilizó carboximetil celulosa o también conocido como CMC (1g) que ayuda como espesante, valores que fueron bloqueados; con la ayuda de un diseño de bloques completamente al azar, estos niveles posteriormente fueron combinados por lo que se obtuvieron 9 tratamientos y tres repeticiones. Una vez elaboradas las formulaciones se realizaron los biopolímeros, obteniendo así algunos prototipos para sus respectivos análisis. Se realizaron pruebas de caracterización mecánica, caracterización química y caracterización funcional. Una vez elaboradas las pruebas de caracterización mencionadas, se determinaron cuáles fueron los mejores tratamientos, por medio de un análisis estadístico utilizando el programa InfoStat, a lo que se pudo establecer que los niveles de agua no difieren para las características del biopolímero, mientras que los niveles de glicerina si presentan significancia y por lo tanto influyen en el comportamiento del biopolímero respecto a sus características, debiéndose esto a que la glicerina actúa como un plastificante.

**Palabras clave:** <BIOPOLÍMEROS>, <ALMIDÓN>, <QUINUA>, <AGUA>, <GLICERINA >, <CARACTERIZACIÓN >.

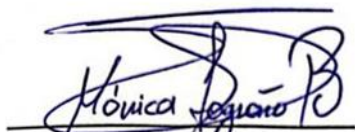
0036-DBRA-UPT-2024



## ABSTRACT

This research focused on the development of biopolymers based on quinoa starch. Three levels of distilled water (175, 200, 225 ml) as a hydrating and plasticizing agent, along with three levels of glycerin (25, 20, 15 ml) performing as a plasticizer, and acetic acid (19 ml) incorporated as a stabilizer and chemical modifier. All this mixture, followed by Carboxymethyl cellulose (CMC or Ig) working as a thickener, was also included. These values of the formulation were blocked using a completely randomized block design, resulting in 9 treatments with three replications each. After getting these formulations, the biopolymers were created, which resulted in some prototypes for subsequent analysis. Mechanical, chemical, and functional characterizations were essential to test the developed biopolymers. After performing these characterization analyses, the most effective treatments were determined through statistical analysis using the Info Stat program. Finally, it was possible to determine that water levels did not significantly differ in influencing the biopolymer characteristics, whereas glycerin levels showed significance, influencing the behavior of the biopolymer due to its role as a plasticizer.

Keywords: <BIOPOLYMERS>, <STARCH>, <QUINOA>, <WATER>, <GLYCERIN>, <CHARACTERIZATION>.



Lic. Mónica Logroño B.

060274953-3

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el plástico a reemplazado a otros materiales tales como el cartón, la madera y el metal, debido a que presenta ventajas como su costo y durabilidad. El plástico suele ser mucho más barato que los otros materiales, es mucho más ligero y resistente a los impactos y al contacto con la intemperie.

Sin embargo, el plástico también presenta un grave problema para los ecosistemas y principalmente para el medio marino; afecta de forma notable al introducirse en toda la cadena alimentaria (micro plásticos) así como también a los animales que viven en el medio, sin mencionar la cantidad de tiempo que toma para su descomposición.

En vista de lo anterior surge el presente trabajo, buscando a través de la elaboración de un biopolímero a base de almidón de quinua, dar una alternativa para minimizar los inconvenientes antes mencionados que presenta el plástico común.

En el presente trabajo experimental, elaborado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se plantean los siguientes objetivos:

- Estudiar el efecto de diferentes dosificaciones de aditivos sobre las propiedades de un biopolímero obtenido a partir de almidón de quinua.
- Obtener diferentes biopolímeros a partir de almidón de quinua aplicando diferentes dosificaciones de agua (175 ml, 200 ml, 225 ml) y glicerina (15 ml, 20 ml, 25 ml) con cantidades constantes de ácido acético y carboximetil celulosa.
- Analizar el efecto producido por cada factor sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del biopolímero obtenido.
- Determinar la formulación que produce el biopolímero con mejores propiedades.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Quinoa

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la quinoa pertenece al reino Plantae, división *Magnoliophyta*, familia *Amaranthaceae*, género *C. quinoa*. La quinoa ha sido reconocida como un cultivo alimenticio pertenece a los Andes de Sudamérica, con un alto valor nutricional en comparación con otros cereales ya que tiene propiedades antioxidantes, anti carcinogénica, antiinflamatoria, etc. (FAO, 2023). Según Dante et al. (2018), la quinoa se produce principalmente en la región de los Andes de Argentina, Chile, Colombia, Perú y Ecuador.

Riquelme (2018) notifica que el valor nutricional por cada 100gr de porción tiene alrededor de 200 calorías 14 g de proteína 16 g de carbohidratos 6 g de lípidos 7 g de fibra 22 miligramos de vitamina C 47 miligramos de calcio y 4,6 miligramos de hierro estos valores van a variar de acuerdo con el suelo del cultivo donde se produzca la quinoa.

**Tabla 1-1:** Valor nutricional de la quinoa

NUTRIENTE	UNIDAD	VALOR POR 100 G
Agua	g	13,28
Energía	Kcal	368
Proteína	g	14,12
Lípidos totales	g	6,07
Cenizas	g	2,38
Carbohidratos por diferencia	g	64,16
Fibra total dietaria	g	7,00
Almidón	g	52,22
Calcio, Ca	g	47,00
Hierro, Fe	mg	4,57
Magnesio, Mg	mg	197,00
Fósforo, P	mg	457,00
Potasio, K	mg	563,00
Sodio, Na	mg	5,00
zinc, Zn	mg	3,10
Cobre, cu	mg	0,59
Manganeso, Mn	mg	2033,00
selenio, Se.	µg	8,50

Fuente: FAO, 2023.

Realizado por: Loor, Daniela, 2023.



### ***1.1.1. Descripción***

La quinua presenta algunas características, tenemos que es una planta que se desarrolla una vez al año, tiene unas hojas anchas y de manera general alcanza una altura de alrededor de 1 a 2 m, el tallo es posible que tenga o que no tenga ramas, otra de las características son que su raíz tiene una medida aproximadamente de 20 a 25 cm, los frutos son secos y miden alrededor de 2 mm de diámetro y su fruto es de 250 a 500 semillas por grano que se encuentran alrededor del cáliz y a su vez la semilla presenta un color rosado (Dante et al., 2018, p. 53).

La semilla de la quinua generalmente es bisexual; es decir, que se auto fertiliza, cabe recalcar que la cosecha de la quinua es incierta porque sus periodos de madurez son variables pero una vez cosechadas las semillas de la quinua tiene que pasar por un proceso para quitarles la cáscara y posteriormente secarse, este último proceso es de suma importancia porque las semillas de la quinua tienden a germinarse de inmediato, entonces se procede a secar a la luz del sol y por último se deberá frotar la semilla para la eliminación de la cascara; todo lo que se menciona es de manera manual pero si se solicita el proceso de una manera industrial se necesita el molino mecánico así como otros implementos que ayuden al rendimiento del proceso (Dante et al., 2018, p. 67).

### ***1.1.2. Usos de la quinua***

En el Ecuador el uso de la quinua es más común cuando se trata de la quinua saponificada por lo que solo se tiene apertura para la elaboración de ciertos productos (Peralta, 2009, p. 16).

#### ***1.1.2.1. Quinua perlada***

La quinua no pasa por ningún otro proceso que no sea la saponificación que consiste en la eliminación de saponina que envuelve el grano de quinua que se utiliza para la elaboración de sopas, coladas y repostería (Peralta, 2009, p. 28).

#### ***1.1.2.2. Harina cruda de quinua***

La harina cruda de quinua proviene de la molienda de una quinua perlada, su granulometría depende de los ajustes del molino para más o menos grosor del grano, cabe recalcar que esto no influye mucho en sus usos que también pueden ser en repostería, guisos tradicionales, elaboración de galletas, etc. (Peralta, 2009, p. 32).

### *1.1.2.3. Harina tostada de quinua*

Viene desde la quinua perlada que ha pasado por un proceso de tostado y molienda que posteriormente puede ser utilizado para la elaboración de sopas, coladas o repostería (Peralta, 2009, p. 37).

### *1.1.2.4. Hojuelas de quinua*

La quinua perlada es sometida a un proceso de prensado por dos láminas que le dan la forma aplanada y que posteriormente puede ser consumida como un cereal (Peralta, 2009, p. 41).

### *1.1.3. Otros usos de la quinua*

Tiene diversos usos siendo los más comunes los ya mencionados, por otro lado, también sus usos pueden variar según el subproducto puede ser alimenticio, cosmético, farmacéutico, etc. (FAO, 2023).

Algunos de los usos que se le pueden dar es la elaboración de la cerveza con la saponina, elaboración de pasta dental, pesticidas, antibióticos, detergentes, tenemos también la extracción del almidón que podría utilizarse para la sustitución de almidones modificados químicamente también se puede emplear para la producción de aerosoles, productos de papel autocopia, postres alimenticios, talcos y polvos también se utiliza dentro de la industria plástica (FAO, 2023).

## **1.2. Almidón de quinua**

Mujica et al. (2006), manifiesta que la composición del almidón de la quinua es distinta en comparación con otros almidones el gluten es bajo así como también el tamaño del gránulo es de 2 micras este almidón es una mezcla de 2 glucano amilosa y amilopectina por lo que se puede utilizar como espesante y aglutinante, la quinua tiene el contenido del almidón de alrededor del 58.1 al 64.2% aunque en la actualidad los gránulos de almidón de la quinua no han sido estudiados a fondo por lo que no se tiene suficiente información (Mujica, et al., 2006, pp. 164-165).

El almidón de quinua de la quinua tiene una buena estabilidad en cuanto a las retrogradación y congelamiento, por lo que puede obtenerse un subproducto con buenas características (Arzapalo, et al., 2015, p. 45).

Los almidones de quinua tienen distintos niveles de solubilidad de agua y de acuerdo con su solubilidad dependerá el uso por ejemplo del 4 al 6% son útiles para la elaboración de pasabocas y mezclas en polvo del 3 al 7% serán utilizados para sopas instantáneas y del 1 al 3% para pudines y salsas (Zárate, 2019, p. 62).

### **1.3. Almidón**

El almidón es una de las principales fuentes de hidratos de carbono y de polisacáridos de almacenamiento más abundante de las plantas se presenta de algunas formas como los gránulos en los cloroplastos de las hojas verdes en las legumbres y tubérculos el almidón está formado de manera principal por dos componentes que son la amilosa y amilopectina y una pequeña porción del 1 al 2% de lípidos y minerales, aunque cabe recalcar que esto puede variar de acuerdo a su origen botánico (Villarroel, et al. 2018 pp. 271-272).

Otra de las características principales del almidón es que su digestión depende de la estructura del gránulo a su tamaño y también la relación entre la amilosa y amilopectina. (Villarroel, et al., 2018, p. 52).

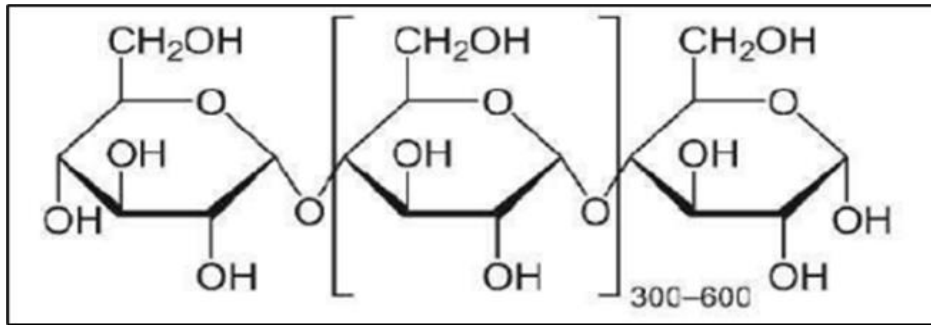
El concepto químico del almidón es un polisacárido que está formado por cadenas alargadas de moléculas de glucosa que pertenecen al grupo de carbohidratos, forma parte importante de la dieta humana; se dice que el almidón es una materia de reserva de energía que tiene los granos insolubles en agua fría (Amaya, et al., 2019, p. 14).

#### **1.3.1. Amilosa**

La amilosa es principalmente un polímero que representa el 17-27 % del total del almidón siendo el resto amilopectina (Badui, 2006, p. 83).

Las unidades de anhidro glucosas están juntas en más cantidad por enlaces glucosídico  $\alpha$  (1-4) y un bajo grado de ramificación en enlaces  $\alpha$  (1-6), esta molécula pesa de 150 a 106 g/mol<sup>3</sup>. La amilosa tiene una estructura helicoidal, en el interior de la hélice, contiene átomos de hidrógeno, entretanto que los grupos hidroxilos permanecen en el exterior (León, et al., 2020, p. 621).

La existencia de átomos de hidrógeno dentro de la hélice otorga un distintivo hidrófobo a la amilosa y se puede elaborar complejos con ácidos grasos libres, con componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y algunos alcoholes (León, et al. 2020, p. 622).



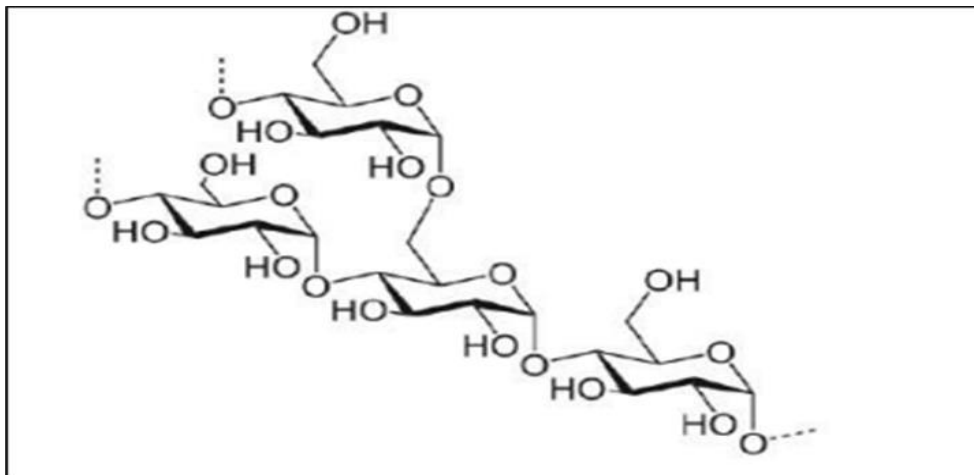
**Ilustración 1-1:** Estructura química de la amilosa

**Fuente:** León, et al., 2020, p. 622.

### 1.3.2. *Amilopectina*

Es una macromolécula ramificada con cadenas lineales cortas fusionadas por enlaces glucósidos  $\alpha$  (1-6). Esta contiene de 10 a 60 unidades de glucosa y las cadenas laterales con 15 a 45 unidades de glucosa con un promedio de 5% de enlaces  $\alpha$  (1-6) en puntos ramificados.

La amilopectina tiene un peso mayor a la amilosa que va entre  $1 \times 10^7$  a  $5 \times 10^8$  g/mol; hoy las cadenas que las unen están dispuestas radialmente dentro del gránulo con sus respectivos terminales no reductoras orientadas hacia la superficie, con alternancia de zonas cristalinas como un doble hélice y zonas amorfas como regiones de los puntos de ramificación.



**Ilustración 2-1:** Estructura química de la amilopectina

**Fuente:** León, et al., 2020, p. 622.

#### **1.4. Hidrolisis del almidón**

La hidrólisis del almidón es significativa para para la obtención de azúcares reductores de algunos cereales o cultivos ricos en almidón como la quinua, trigo, cebada, etc. Un claro ejemplo es que a partir de los azúcares reductores libres del grano de la quinua se puede obtener otros compuestos polímeros por medio de fermentación (Amador, et al., 2016, p. 70).

Al llevar a cabo el proceso de hidrólisis de los azúcares se pueden obtener maltosa, glucosa, dextrina, etc. Estas materias obtenidas son de gran utilidad en las diferentes industrias para la producción de algunos productos como por ejemplo la industria de alimentos, industria farmacéutica o para la elaboración de biopolímeros que ayudan al medio ambiente (Amaya, et al. 2019, p. 32).

Existen otra clase de productos obtenidos a partir de la hidrólisis del almidón y estos son el almidón modificado, que consiste en someter al almidón a algunos cambios físico-químicos o enzimáticos dependiendo del proceso, se dice que el almidón modificado cumple las mismas funciones que el almidón normal con la diferencia que el almidón modificado presenta sus características mejoradas por lo que en la actualidad es utilizado dentro de la industria como aglutinante, espesante, emulgente (Amaya, et al., 2019, p. 34).

##### ***1.4.1. Procesos de hidrólisis del almidón***

La hidrólisis es el paso principal para conseguir los azúcares del almidón, pero así también para la obtención de los derivados del almidón o del almidón modificado es necesario que esté sea sometido a uno o varios procesos fisicoquímicos o enzimáticos. El proceso de la hidrólisis consiste en llevar a cabo el proceso enzimático, dónde es necesario la utilización de proteínas como una actividad específica, que tenga la capacidad de romper los enlaces que los mantienen unidos, por medio del cual el polisacárido se fracciona en cadenas más pequeñas; las proteínas llamadas alfa ( $\alpha$ ) amilasas que son expulsadas por hongos y bacterias son las encargadas de separar el almidón en moléculas más sencillas y de cambiar su estructura; al ser estas enzimas proteínas les afecta el calor y es posible que pierdan sus funciones al estar presentes en procesos que necesiten altas temperaturas (Amaya, et al., 2019, p. 27).

Por otro lado, también están las alfa amilasas que pueden soportar altas temperaturas porque son capaces de convertir el almidón en una temperatura que puede superar hasta los 40 °C; las enzimas alfa amilasas son expulsadas por bacterias que pertenecen a lugares muy calientes (Amaya, et al., 2019, p. 34).

## **1.5. Tipos de almidón**

Según Palma (2020), existe gran cantidad de almidones de acuerdo con su procedencia o especie dentro de los cuales tenemos los almidones resistentes, pero cabe recalcar que no todos los almidones resistentes son metabolizados en la misma manera por las bacterias por lo que surge la necesidad de clasificarlos y a continuación se presenta una clasificación en cuatro categorías de la siguiente manera:

### ***1.5.1. AR 1 o almidón físicamente inaccesible***

Se encuentra presente en la estructura de las plantas como granos legumbres y semillas enteras (Palma, 2020, p. 42).

### ***1.5.2. AR 2 o almidón crudo o cristalizado***

Está presente en alimentos como plátanos verdes patatas crudas y harina de maíz (Palma, 2020, 42).

### ***1.5.3. AR 3 o retrogradado***

Este se forma después de cocinar y enfriar los alimentos como las papas yucas, arroz avenas, copos de maíz y legumbres consumidas frías como el hummus (Palma, 2020, p. 42).

### ***1.5.4. AR 4 o modificado químicamente***

Utilizado en la industria alimentaria para espesar, sustituir la grasa en alimentos bajos en calorías y como agente gelificante. Se encuentra en alimentos procesados como aderezos y preparados precocinados (Palma, 2020, p. 43).

## **1.6. Polímero**

Se define al polímero por su tipo y sus características, estos pueden ser sintéticos que provienen del petróleo y naturales que son de plantas y animales; la palabra polímero proviene del griego *polys* que significa varios y *meros* que significa partes respectivamente, los polímeros se los puede definir como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de la cadena (Rosales, 2016, pp. 8-12).

## **1.7. Biopolímeros**

Los polímeros naturales o conocidos también como biopolímeros, por millones de años han sido parte del día a día dentro del entorno y en la actualidad son una base de estudio que puede suplantar al uso de plásticos comunes y de esta manera minimizar el impacto ambiental que estos producen; para obtener un biopolímero se puede poner en práctica la fermentación de carbono de fuentes renovables dentro de las cuales podrían ser azúcares de cultivos energéticos o también algunos residuos de industrias como aguas residuales, biodiesel, biomasa, almidón, etc. Cabe recalcar que el almidón es el principal compuesto para la elaboración del biopolímero (Cunalata, 2021, p. 12).

Los biopolímeros en la actualidad son una fuente económica considerable dentro de la industria de los empaques, debido a que es un material similar a los materiales sintéticos por todas sus propiedades materiales y su capacidad de bio degradarse; en el Ecuador se utilizan 450000 toneladas métricas de plástico en el año por lo que representa un problema de impacto ambiental considerable. Para toda esta problemática se ha buscado soluciones hoy entre ellas el reciclaje, pero en la actualidad no ha dado hola mucho resultado por lo que se continúa buscando alternativas y una de ellas es del uso de los biopolímeros ya que sería una solución desde el inicio del problema (Cunalata, 2021, p. 15).

### ***1.7.1. Tipos de biopolímeros***

#### *1.7.1.1. Biopolímeros de organismos vivos*

Estos biopolímeros son creados o pueden estar presentes en organismos vivos que incluyen carbohidratos y proteínas.

#### *1.7.1.2. Moléculas polimerizadas*

Estas moléculas provienen de los recursos renovables y pueden ser utilizadas en las fábricas de plásticos como por ejemplo maíz, papas, remolacha, yuca, quinua, etc.

### ***1.7.2. Ventajas de los biopolímeros***

Los biopolímeros tienen algunas ventajas dentro de las cuales tenemos (Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 2017, p. 52).

- Son elaborados en su mayoría de fuentes renovables.
- La producción de biopolímeros ayuda a la disminución del impacto ambiental con la reducción del uso de petróleo y la emisión de gases.
- Al finalizar su uso el biopolímero se puede usar como una composta que es beneficioso para los suelos.
- Su descomposición es mucho más rápida que un polímero a base de petróleo teniendo en cuenta que éste se demora entre 100 y 1000 años en descomponerse.

### **1.7.3. Bioplásticos más comunes**

Existe una extensa variedad de bioplásticos utilizados en la industria, pero a continuación se presentan los hoy más utilizados actualmente.

#### **1.7.3.1. Biopropileno (BioPP)**

La materia prima de la elaboración de este biopolímero es la caña de azúcar y es usado principalmente para el embalaje y la industria textil (Ehman y Area, 2021, p. 4663).

#### **1.7.3.2. Biopolietileno (BioPe)**

Su materia prima son los granos de trigo, hoy caña de azúcar o remolacha y se usa para el embalaje de todo tipo de producto y para la elaboración de botellas o tubos (Ehman y Area, 2021, p. 4663).

#### **1.7.3.3. Biopoliamida (PA)**

Elaborado a base biológica de aceite de resino y se utiliza para la impresión 3D y la industria textil (Ehman y Area, 2021, p. 4663).

#### **1.7.3.4. Ácido poliláctico (PLA)**

Su base es principalmente la caña de azúcar, maíz home microorganismos y se emplea para la elaboración de películas de envase de alimento, bandeja de espuma, botellas o impresiones 3D (Ehman y Area, 2021, p. 4663).



#### *1.7.3.5. Polihidroxial canoatos (PHA)*

Esta elaboración de caña de azúcar y microorganismos, su uso es para las impresiones 3D para el uso médico, películas de envases y alimentos (Ehman y Area, 2021, p. 4663).

#### *1.7.3.6. Base de almidón*

Este hecho a base de papa, arroz, trigo, maíz y sirve para elaboración de películas de envase de alimentos y productos médicos (Ehman y Area, 2021, p. 4664).

#### *1.7.3.7. Base en celulosa*

Su base es de caña de azúcar y madera, se pueden fabricar películas de envases de alimentos, fibras y textiles (Ehman y Area, 2021, p. 46624).

### ***1.7.4. Biopolímeros basados en almidón***

Se han realizado un sin número de investigaciones sobre el almidón principalmente porque esta es la combinación de amilosa y amilopectina los principales carbohidratos, siendo esta la razón principal por la que la mayoría de los biopolímeros, están elaborados a base de almidón en distintas combinaciones o composiciones en general. Los Biopolímeros que son elaborados a base de almidón también tienen otras bases o materias primas como lípidos proteínas y polisacáridos, pero todo depende del tipo de biopolímero a realizarse ya que algunos de los biopolímeros elaborados presentan algunas propiedades mecánicas que no son lo suficientemente resistentes; esto se puede solucionar tomando en cuenta los componentes y cantidades a utilizarse ya sea una combinación de algunos componentes o durante la elaboración del biopolímero para que de esta manera pueda mejorar las características y propiedades mecánicas del biopolímero.

### ***1.7.5. Aditivos para la elaboración de un biopolímero***

#### *1.7.5.1. Agua destilada*

El agua que ha sido sometida a un medio de destilación se libera de impurezas de iones, cloruros, magnesio y flúor, es decir se obtiene un agua libre de impurezas, por lo que se puede utilizar dentro algunas industrias sin riesgo de contaminación por medio del agua (Urguilés, 2021, p. 19).

El agua se ha reconocido como el plastificante más eficiente, se requiere un mínimo del 20% de plastificantes para lograr una exitosa plastificación del almidón. La concentración del plastificante desempeña un papel crucial en el proceso de retrogresión del almidón. Cuando la concentración del plastificante en el en el polímero es superior al 25%, este limita la retrogresión del almidón. Por otro lado, si la concentración del plastificante es menor, se promoverá la cristalización de las cadenas de almidón (Cuevas, 2017, p. 15).

#### *1.7.5.2. Glicerina*

El glicerol, conocido también como glicerina, aumenta la permeabilidad al valor del polímero final. Esto se debe a su naturaleza hidrofílica, ya que se une fácilmente a las moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno. Los plastificantes solubles en agua, como el glicerol, son eficaces para ablandar los almidones y mejorar la flexibilidad en las películas resultantes (Enríquez et al., 2012 pp. 182-192).

#### *1.7.5.3. Carboximetil celulosa*

El uso de ciertos estabilizantes como la carboximetilcelulosa (CMC) en el almidón resulta en la reducción de la permeabilidad al vapor de agua, solubilidad y aumento en la resistencia a la tensión de las películas (Enríquez et al., 2012, pp. 182-192).

#### *1.7.5.4. Ácido Acético*

En general, la esterificación de polisacáridos con ácidos orgánicos como el ácido acético es una transformación muy versátil en los biopolímeros. La incorporación de un grupo éster en el Polisacárido es un avance importante ya que permite modificar su naturaleza hidrofílica y lograr cambios significativos en sus propiedades mecánicas y térmicas. El ácido acético es recomendado para este tipo de modificaciones químicas, ya que reduce la naturaleza hidrofílica del almidón y le otorga propiedades hidrofóbicas, haciéndolo más relevante (Rosales, 2016, p.34).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización y duración del experimento

el presente proyecto de investigación experimental hoy se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana sur km 1 ½, ubicada a una altitud de 2740 msnm, 78° 4' de longitud oeste y 1° 38' de latitud sur. La investigación tuvo una duración de aproximadamente 120 días.

#### 2.2. Unidades experimentales

Este proyecto de investigación se realizó con 100 g totales de reactivos (almidón, agua y glicerina) procesados para la elaboración del biopolímero.

#### 2.3. Materiales, equipos e insumos

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se dispuso de los siguientes materiales equipos e insumos.

##### 2.3.1. *Reactivos*

- Agua destilada
- Glicerina
- Ac. Acetico
- Carboximetilcelulosa
- almidón de quinua

##### 2.3.2. *Materiales*

- Bitácora de apuntes
- Mascarilla
- Mandil
- Cofia
- Vasos de precipitado
- Varilla de agitación
- Probetas

- Jeringas
- Mortero
- Papel encerado
- Tamiz
- Tijeras
- Regla
- Penetrómetro
- Cajas Petri

### 2.3.3. Equipos de laboratorio

- Agitador magnético
- Balanza analítica
- Espectrómetro FTIR
- Espectrómetro UV
- Equipo de elongación

### 2.3.4. Instalaciones

- Laboratorio de bromatología y nutrición animal
- Laboratorio de curtiembre y fibras agroindustriales.
- Laboratorio de la facultad de ciencias
- Laboratorio de la facultad de ciencias.
- Laboratorio de la facultad de Recursos Naturales.

## 2.4. Tratamientos y diseño experimental

Para llevar a cabo esta investigación se han planteado 9 tratamientos que consiste en el uso de diferentes niveles de los factores agua y glicerina. Para cada factor se consideraron 3 niveles, teniendo un total de 9 tratamientos, correspondientes a cada combinación de niveles de factor.

**Tabla 1-2:** Diseño experimental

	ALMIDON (g)	AGUA (ml)	GLICERINA (ml)	Ac. Acético (ml)	CMC (g)
	30	225	25	19	1
<b>NIVELES</b>	30	200	20	19	1
	30	175	15	19	1
<b>Diseño Factorial de 3*3=9</b>					

Realizado por: Loor, Daniela, 2023.

Se tienen dos factores que son bloqueados, es decir que no varían en los tratamientos, estos factores son el ácido acético 19 ml y el Carboximetil Celulosa (CMC) 1 g; de este modo las formulaciones que se aplican en cada tratamiento son las siguientes:

**Tabla 2-2:** Tratamientos experimentales

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>ALMIDON (g)</b>	<b>AGUA (ml)</b>	<b>GLICERINA (ml)</b>	<b>Ac. Acético (ml)</b>	<b>CMC (g)</b>
<b>T1</b>	30	225	25	19	1
<b>T2</b>	30	200	25	19	1
<b>T3</b>	30	175	25	19	1
<b>T4</b>	30	225	20	19	1
<b>T5</b>	30	200	20	19	1
<b>T6</b>	30	175	20	19	1
<b>T7</b>	30	225	15	19	1
<b>T8</b>	30	200	15	19	1
<b>T9</b>	30	175	15	19	1

Realizado por: Loor, Daniela, 2023.

## **2.5. Metodología de evaluación**

### **2.5.1. Pruebas mecánicas**

#### **2.5.1.1. Densidad**

Se refiere a la producción del bioplástico que se encuentra en un volumen específico de una sustancia, en este caso agua (Rosales, 2016, p.37).

#### **2.5.1.2. Elasticidad**

La fuerza máxima a la que se someten las películas del biopolímero es evaluada mediante la determinación de su resistencia a la tensión (Ruiz, 2005 pp. 15-22).

#### **2.5.1.3. Transparencia**

La apariencia u opacidad que presentan los polímeros es definida por su determinación que se le pueda dar de acuerdo con la escala que se impone (Rivera, 2014 p. 147).

## **2.5.2. Caracterización química**

### **2.5.2.1. Grupos funcionales**

La principal utilidad de esta técnica es identificar o caracterizar un material mediante la detección de sus grupos funcionales presentes. Esto se debe a que cada enlace posee una energía vibracional particular en la región infrarroja lo que se puede detectar con la ayuda del espectrofotómetro (Ruiz, 2005 pp. 15-22).

## **2.5.3. Caracterización funcional**

### **2.5.3.1. Solubilidad en agua**

La estabilidad del biopolímero frente a la exposición a cierta cantidad de agua se refiere a su capacidad de resistir los efectos adversos de dicho proceso.

### **2.5.3.2. Absorción del agua**

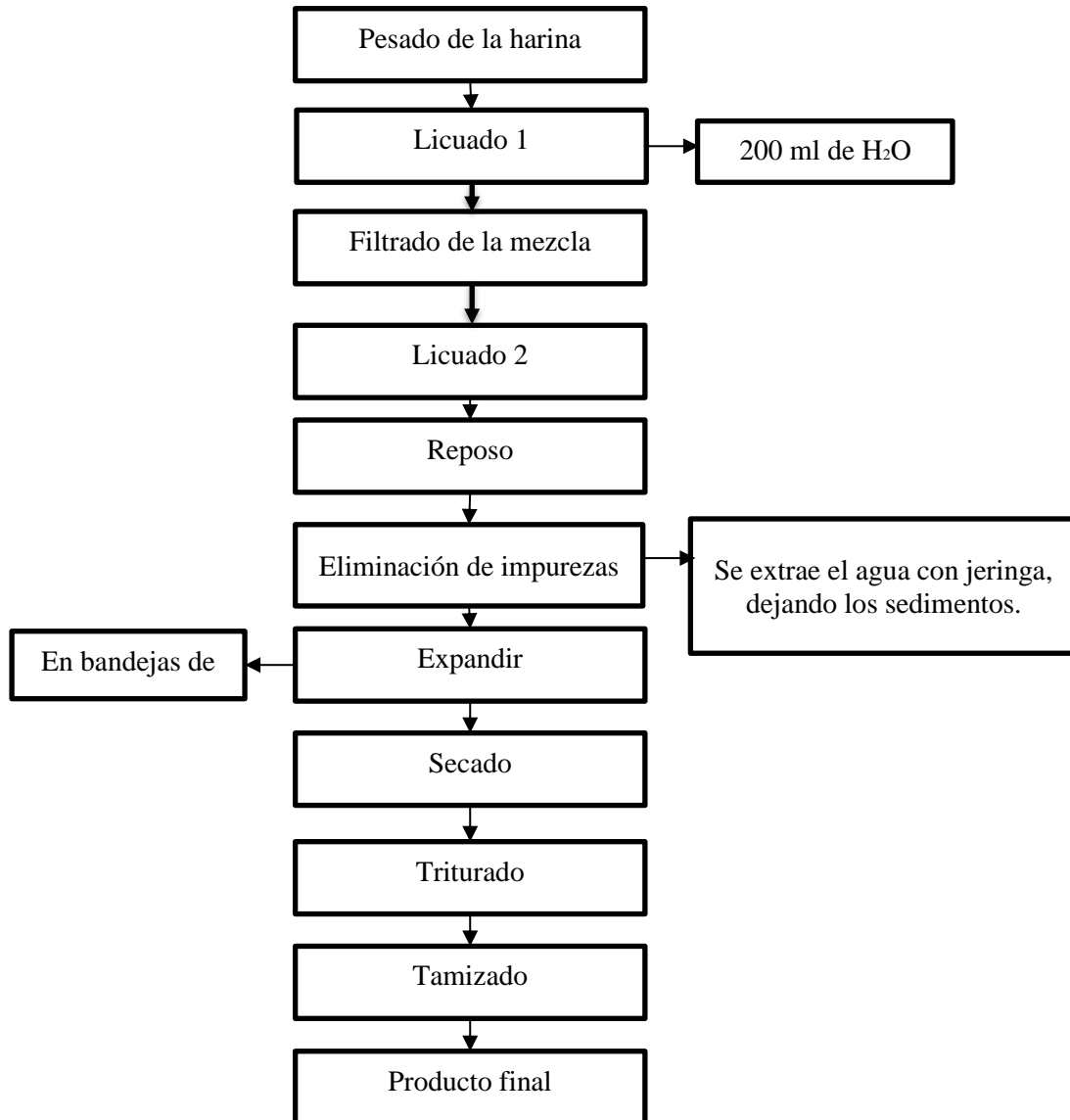
La capacidad de absorción de agua de un polímero se refiere a su habilidad para aumentar de tamaño al entrar en contacto con una determinada cantidad de agua.

### **2.5.3.3. Temperatura de gelatinización**

La temperatura a la que un polímero se calienta a altas temperaturas, alcanzando un punto específico en el cual experimenta cambios en su estructura, se conoce como temperatura de transición vítrea.

## 2.6. Procedimiento experimental

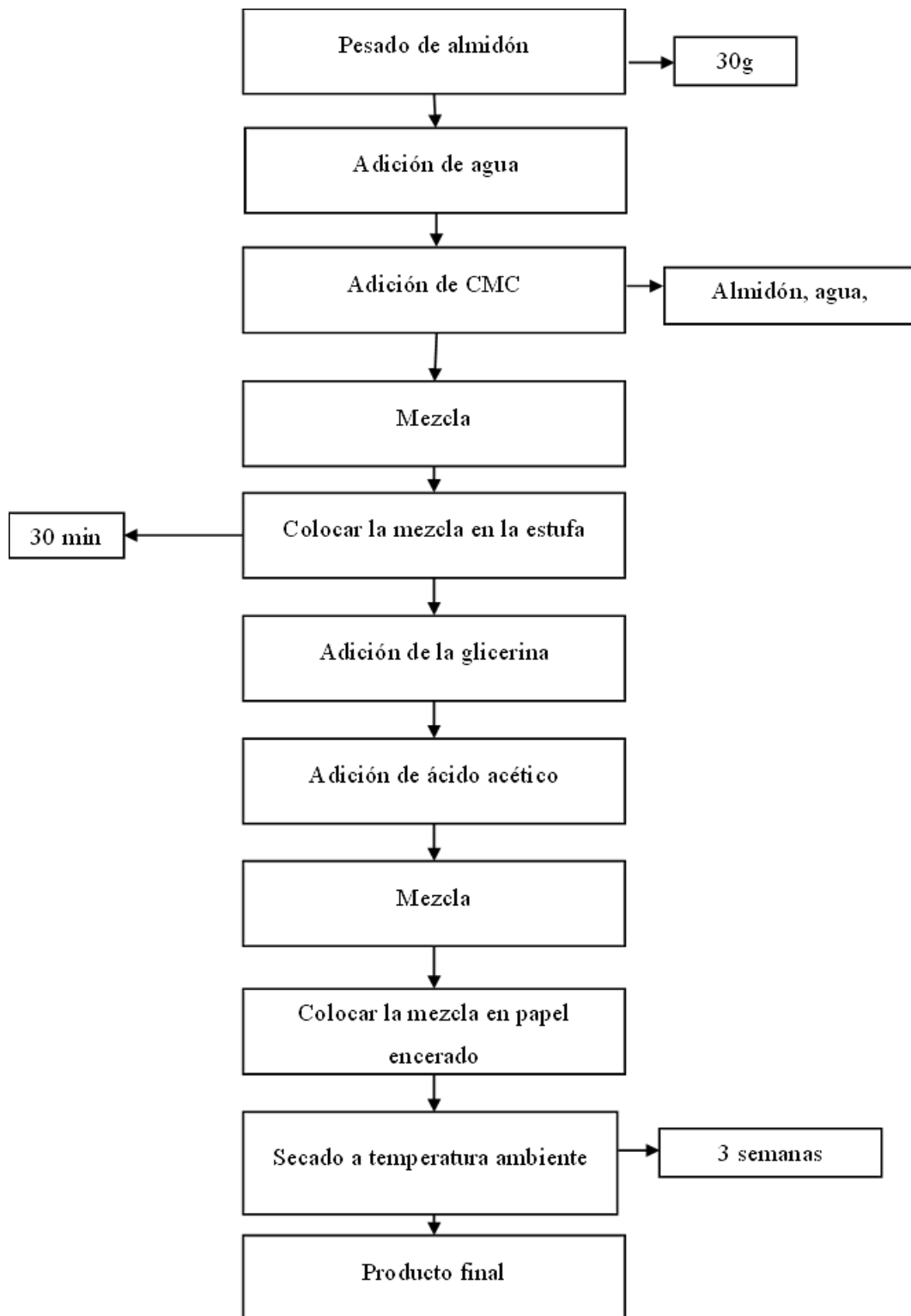
### 2.6.1. Proceso para la extracción de almidón de quinua



**Ilustración 1-2:** Diagrama de flujo de la extracción de almidón de quinua

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

2.6.2. *Elaboración del biopolímero a base de almidón de quinua*



**Ilustración 2-2:** Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero

Realizado por: Loor, Daniela, 2023.



## **2.7. Mediciones experimentales**

Se aplicaron las siguientes mediciones experimentales en cada etapa durante el proceso.

### **2.7.1. Obtención del almidón**

#### **2.7.1.1. Masa**

- Se pesa la harina de quinua en una balanza antes de proceder a la obtención del almidón
- Se pesa el almidón obtenido.

#### **2.7.1.2. Granulometría**

- Se pesan 20 g de almidón de quinua.
- Se coloca el almidón sobre algunos tamices de diferentes dimensiones
- Se procede a tamizar hasta diferenciar en qué número de tamiz hoy el almidón ya no atraviesa la malla de este.

### **2.7.2. Caracterización mecánica del biopolímero**

#### **2.7.2.1. Densidad**

- Se toma una muestra del biopolímero de 2,5 cm por 2,5 cm
- Con un calibrador se mide el calibre del biopolímero
- En una balanza analítica se pesa la muestra del biopolímero
- Se determina el volumen de la muestra y se obtiene la densidad
- Se repite el proceso por cada tratamiento.

#### **2.7.2.2. Elasticidad**

- Se toma una muestra de biopolímero de 7 cm por 0,15 cm
- Con la ayuda de un elastómetro se determina la elasticidad del biopolímero
- Se repite el proceso por cada tratamiento.

### **2.7.2.3. *Transparencia***

- Se impone un rango de transparencia, que va desde el 1 al 9.
- Se colora los polímeros de acuerdo con el rango de transparencia
- Se toma los datos.

### **2.7.3. *Caracterización química***

#### **2.7.3.1. *Grupos funcionales***

- Se toma una muestra del biopolímero de 1 cm por 1 cm
- Se coloca la muestra dentro del espectrofotómetro
- Se espera unos minutos y se toma los datos
- Se repite el proceso para cada tratamiento

### **2.7.4. *Caracterización funcional del biopolímero***

#### **2.7.4.1. *Solubilidad del agua***

- Se toma una muestra del biopolímero de 1 cm por 1 cm
- Se pesa la muestra y toma los datos
- Se toma el peso de las muestras en una balanza analítica
- Se colocan las muestras en un vaso de precipitación con agua destilada por al menos 24 horas a una temperatura de 30°C
- Filtramos la muestra
- Se colocan las muestras en la estufa por un periodo de 24 horas
- Se pesan nuevamente las muestras y se toma los datos.
- Se repite el proceso para cada tratamiento.

#### **2.7.4.2. *Absorción del agua***

- Se toma una muestra del biopolímero de 1 cm por 1 cm
- Se coloca en 10 ml de agua por 17 minutos
- Se mide la muestra del biopolímero y se toma los datos
- Se repite el proceso por cada tratamiento.

#### 2.7.4.3. *Temperatura de gelatinización*

- Se toma una muestra de 1 cm por 1 cm
- Se coloca en la estufa a una temperatura de 150 °C, por un periodo de 4 horas.
- Se repite el proceso para cada tratamiento.

## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Características de transparencia

Los resultados obtenidos de la valoración de la transparencia de los biopolímeros elaborados a base de almidón de quinua se presentan en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Características de transparencia del biopolímero elaborado

Muestra de los tratamientos	Agua (ml)	Glicerina (ml)	Ranking (ordinal)
T5	200	20	1
T1	225	25	2
T8	200	15	3
T2	200	25	4
T4	225	20	5
T3	175	25	6
T6	175	20	7
T7	225	15	8
T9	175	15	9

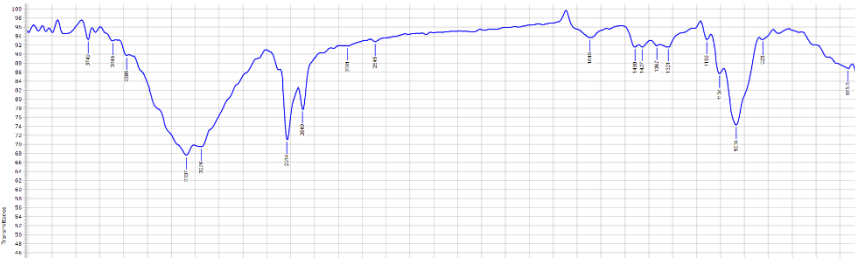

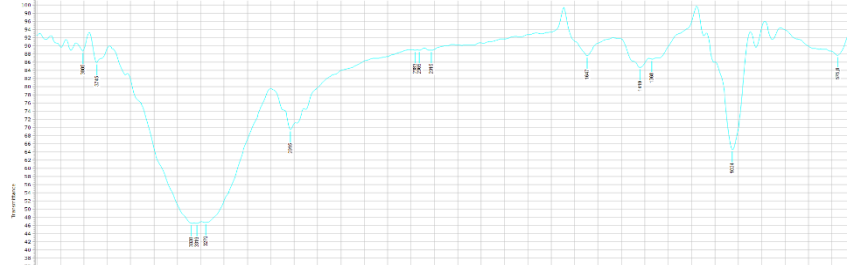
Realizado por: Loor, Daniela, 2023.

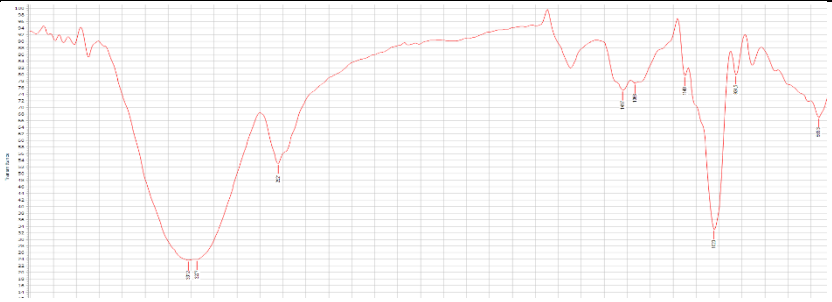
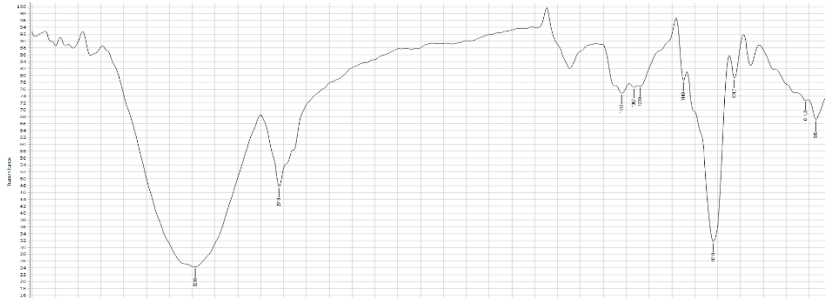

Se califica la transparencia por un medio de un ranquin, que va desde el menos transparente hasta el más transparente, identificando a los biopolímeros de la siguiente manera, el tratamiento T9 con 175 ml de agua y 15 ml de glicerina, presento una transparencia de un rango de 9 reflejando que es el tratamiento con mayor transparencia; así también tenemos al tratamiento T5 con 200 ml de agua y 20 ml de glicerina que presento la menor transparencia con una calificación de 1.

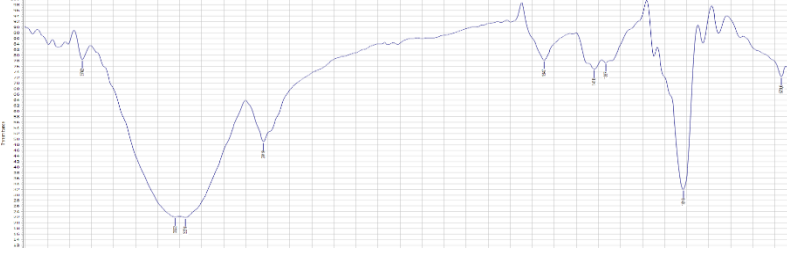
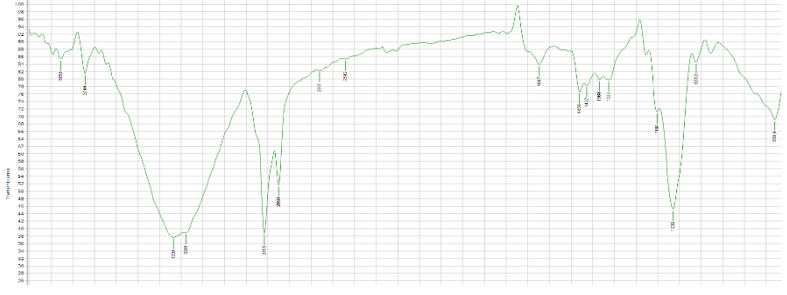
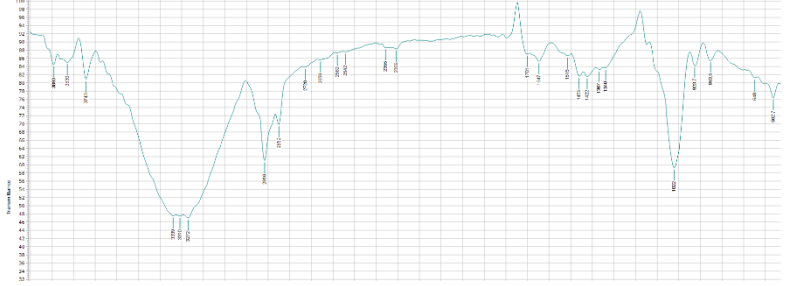
#### 3.2. Caracterización química de grupos funcionales

Para determinar la relación de las diferentes proporciones de agua y glicerina sobre la química superficial del polímero se realizaron análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, FTIR. A continuación, se muestran los espectrogramas para cada tratamiento y se discuten los picos principales identificados:

**Tabla 2-3:** Espectros FTIR de los bioplásticos obtenidos y sus picos representativos

Tratamiento	Espectrograma	Picos principales (cm <sup>-1</sup> ) / Grupo funcional
<p>T1: 225 ml agua; 25 ml glicerina</p>		<p>3749: O-H tensión 3337: O-H tensión 2914: C-H tensión 2849: C-H tensión 1460: C-H flexión 1321: O-H flexión 1034: C-N tensión</p>
<p>T2: 200 ml agua; 25 ml glicerina</p>		<p>3739: O-H tensión 3333: O-H tensión 2915: C-H tensión 1427: C-H flexión 1324: O-H flexión 1035: C-N tensión</p>
<p>T3: 175 ml agua; 25 ml glicerina</p>		<p>3745: O-H tensión 3319: O-H tensión 2915: C-H tensión 1419: C-H flexión 1024: C-N tensión</p>

Tratamiento	Espectrograma	Picos principales (cm <sup>-1</sup> ) / Grupo funcional
<p>T4: 225 ml agua; g20 ml glicerina</p>		<p>3747: O-H tensión 3312: O-H tensión 2921: C-H tensión 1647: N-H flexión 1417: C-H flexión 1020: C-N tensión</p>
<p>T5: 200 ml agua; 20 ml glicerina</p>		<p>3744: O-H tensión 3286: O-H tensión 2918: C-H tensión 1647: N-H flexión 1418: C-H flexión 1018: C-N tensión</p>
<p>T6: 175 ml agua; 20 ml glicerina</p>		<p>3744: O-H tensión 3286: O-H tensión 2918: C-H tensión 1647: N-H flexión 1418: C-H flexión 1018: C-N tensión</p>

Tratamiento	Espectrograma	Picos principales (cm <sup>-1</sup> ) / Grupo funcional
<p>T7; 225 ml agua; 15 ml glicerina</p>		<p>3742: O-H tensión 3276: O-H tensión 2919: C-H tensión 1647: N-H flexión 1418: C-H flexión 1016: C-N tensión</p>
<p>T8: 200 ml agua; 15 ml glicerina</p>		<p>3744: O-H tensión 3336: O-H tensión 2915: C-H tensión 1459: C-H flexión 1328: C-N tensión 1030: C-N tensión</p>
<p>T9: 175 ml agua; 15 ml glicerina</p>		<p>3743: O-H tensión 3272: O-H tensión 2916: C-H tensión 1647: N-H flexión 1422: C-N tensión 1022: C-N tensión</p>

Realizado por: Loor, Daniela, 2023.

Consolidando los picos identificados, se puede evidenciar que en todas las combinaciones utilizadas se identifican los mismos grupos funcionales, a saber:

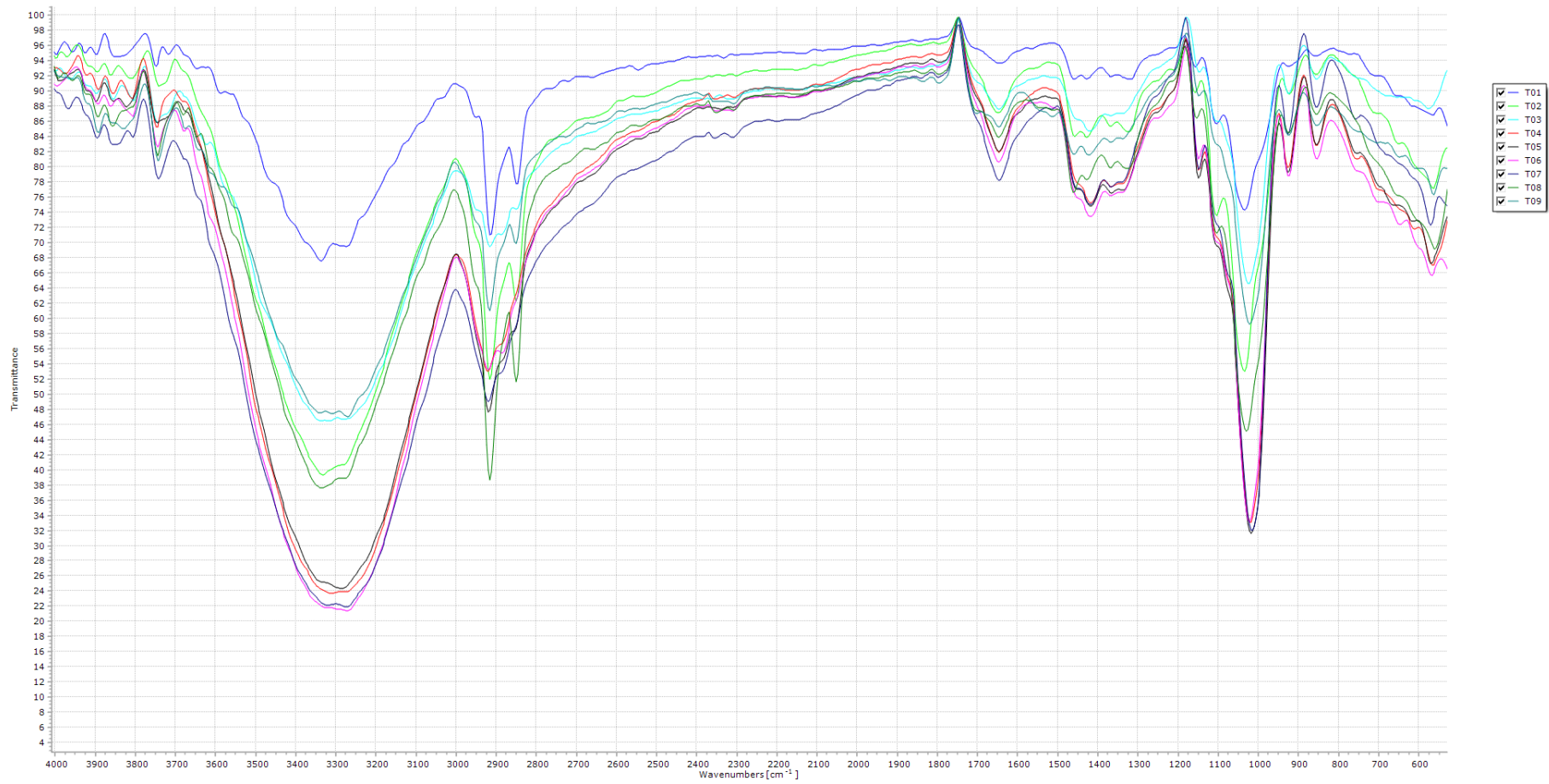
**Tabla 3-3:** Grupos funcionales identificados por FTIR y su interpretación

Grupo Funcional	Interpretación
O-H	Grupos OH relacionados al almidón y a OH de la glicerina
C-H	Carbonos primarios de la cadena de alifática
C-N	Enlaces amida, probablemente relacionados a residuos de péptidos o proteínas de la quinua
N-H	Grupos amínicos, probablemente debidos a aminoácidos de la quinua

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

La identificación de los mismos grupos funcionales en, prácticamente, todas las proporciones estudiadas es indicativo que no se dieron cambios químicos relevantes, sino únicamente se obtuvieron mayor proporción de entrelazamiento de las cadenas de almidón, obteniéndose mayor cantidad de biopolímero. Este doble fenómeno: mantenimiento de los grupos funcionales y aumento de la concentración se evidencia al comparar el conjunto de espectros:





**Ilustración 1-3:** Comparativa de espectros FTIR

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

### 3.3. Características funcionales del biopolímero.

En las tablas 4-3, 5-3 y 6-3, se reportan los resultados de las características funcionales de los biopolímeros elaborados a base de almidón de quinua por efecto de la adición de diferentes niveles de agua (tabla 4-3), varios niveles de glicerina (tabla 5-3) y las respuestas de la interacción entre los dos factores (tabla 6-3).

**Tabla 4-3:** Características de los biopolímeros con diferentes niveles de agua

Parámetros	Niveles de agua						E.E.	Prob.	CV
	175ml		200ml		225ml				
T° de gelatinización °C	105,88	a	110,04	a	106,29	a	0,11	0,356	3,08
Densidad g/cm <sup>3</sup>	1	a	1,17	a	0,81	a	0,06	0,163	19,45
Absorción de H <sub>2</sub> O g	1,93	a	1,46	a	2,22	a	0,28	0,779	62,5
Solubilidad en H <sub>2</sub> O g	69,39	a	65,77	a	61,15	a	0,22	0,274	8,05
Elasticidad <sup>1</sup> , %	11,09	a	9,18	a	9,18	a	0,12	0,178	11,78

<sup>1</sup>Valores ajustados por medio de raíz cuadrada.

E.E: Error estándar

Prob > 0,05: no existen diferencias estadísticas

Prob < 0,05: existen diferencias significativas

Prob < 0,01: existen diferencias altamente significativas

Medias con letras iguales en una misma fila no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

**Tabla 5-3:** Características de los biopolímeros con diferentes niveles de glicerina

Parámetros	Niveles de glicerina						E.E.	Prob	CV
	15 ml		20ml		25 ml				
T° de gelatinización °C	113,00	a	104,45	b	104,86	b	0,11	0,023	3,08
Densidad g/cm <sup>3</sup>	0,88	a	1,12	a	0,96	a	0,06	0,374	19,45
Absorción de H <sub>2</sub> O g	1,17	a	2,34	a	2,19	a	0,28	0,486	62,5
Solubilidad en H <sub>2</sub> O g	58,52	b	76,21	a	61,94	b	0,22	0,006	8,05
Elasticidad <sup>1</sup> , %	10,18	ab	11,09	a	8,24	b	0,12	0,049	11,78

<sup>1</sup> valores ajustados por medio de raíz cuadrada

E.E: Error estándar

Prob > 0,05: no existen diferencias estadísticas

Prob < 0,05: existen diferencias significativas

Prob < 0,01: existen diferencias altamente significativas

Medias con letras iguales en una misma fila no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

**Tabla 6-3:** Características de los biopolímeros con diferentes niveles de agua-glicerina

Niveles de agua y glicerina												
Trat.	Agua	Glicerina	T° de gelatinización °C	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Absorción del H <sub>2</sub> O g	Solubilidad en H <sub>2</sub> O g	Elasticidad <sup>1</sup> , %					
T9	175	15	112,78	a	0,86	a	0,79	a	49,14	b	13,47	a
T6	175	20	105,88	a	1,17	a	4,24	a	89,87	a	11,16	a
T3	175	25	99,20	a	0,96	a	1,49	a	72,08	a b	8,88	a
T8	200	15	113,85	a	0,90	a	1,44	a	56,10	b	8,07	a
T5	200	20	110,25	a	1,44	a	2,10	a	92,16	a	12,53	a
T2	200	25	106,09	a	1,34	a	0,92	a	52,56	b	7,40	a
T7	225	15	112,15	a	0,84	a	1,30	a	71,74	a b	9,36	a
T4	225	20	97,61	a	0,96	a	1,12	a	50,41	b	9,67	a
T1	225	25	109,20	a	0,62	a	5,06	a	62,09	a b	8,58	a
		E.E.	0,18		0,11		0,49		0,38		0,21	
		Prob	0,157		0,67		0,268		0,000		0,179	
		Cv	3,08		19,45		62,5		8,05		11,78	

<sup>1</sup> valores ajustados por medio de raíz cuadrada

E.E: Error estándar

Prob > 0,05: no existen diferencias estadísticas

Prob < 0,05: existen diferencias significativas

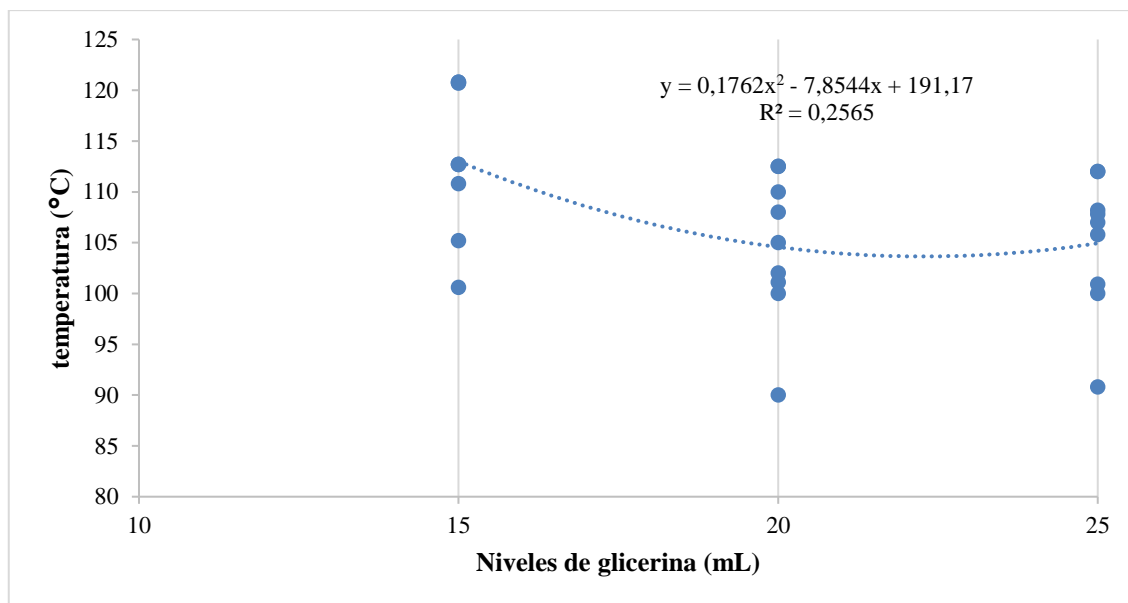
Prob < 0,01: existen diferencias altamente significativas

Medias con letras iguales en una misma fila no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

### 3.3.1. Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización por efecto de los niveles de agua utilizados no registró diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), ya que presentaron valores que van de 105,88 °C cuando se añade 175 ml de agua y 110,04 °C en el nivel que se agrega 200 ml de agua; mientras que por el efecto de la glicerina se registraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), determinándose 113,00 °C cuando se utiliza 15 ml de glicerina; 104,45 °C cuando se añade 20 ml de glicerina y 104,86 °C cuando se utiliza 25 ml de glicerina, por lo que mediante el análisis de la regresión determina que cuando se utiliza de 20 ml de glicerina la temperatura de gelatinización se reduce, pero se eleva ligeramente cuando se utiliza niveles superiores como se observa en la ilustración 2-3 por lo que se establece que mejores respuestas se conseguiría cuando se utiliza 20 ml de glicerina porque requiere una menor temperatura.



**Ilustración 2-3:** Temperatura de gelatinización de biopolímeros según niveles de glicerina

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

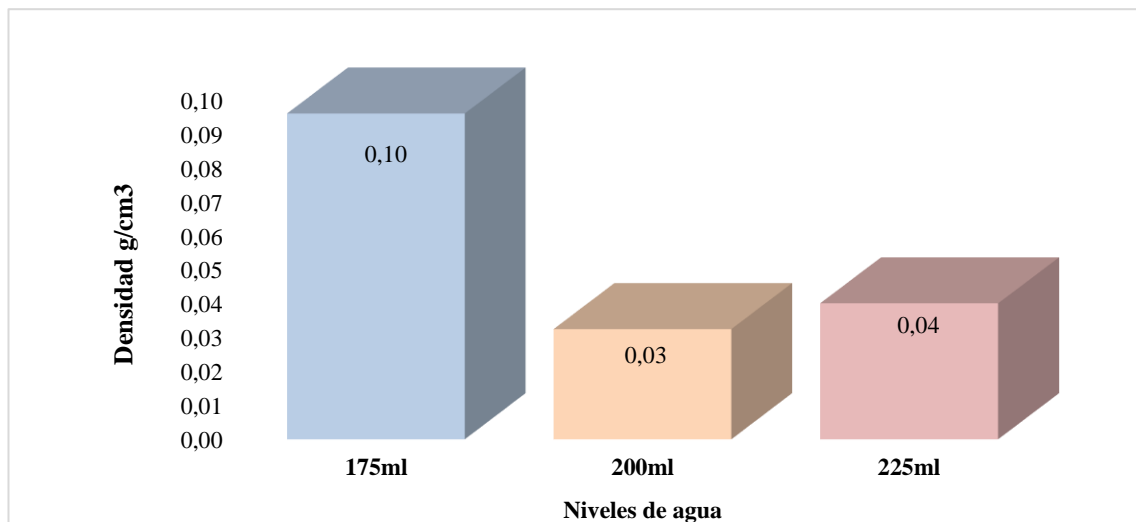
Por efecto de la interacción de glicerina y agua no se encuentran diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en los resultados de la temperatura de gelatinización del biopolímero, ya que los valores encontrados variaron desde 97,61 a 113,85 °C cuando se utilizaron 225 ml de agua con 20 ml de glicerina y 200 ml de agua con 15 ml de glicerina, respuestas que estadísticamente son iguales.

Por lo que se puede indicar que la temperatura de gelatinización depende de la glicerina utilizada durante los procesos de hidratación o secado por cuánto Heredia et al. (2019), indica que el biopolímero adopta una textura más dura y quebradiza, a medida que transcurre el tiempo y aumenta la temperatura. Por lo que se puede considerar que mejores resultados se obtuvieron entre 20 y 25 ml de glicerina porque requieren menores temperaturas para su gelatinización; respuestas que comparadas con el trabajo de Heredia et al. (2019), quién establece que el polímero biodegradable a base de almidón de yuca presenta temperaturas de gelatinización entre 150 y 120, valores que guardan relación con las temperaturas obtenidas en el presente trabajo.

### 3.3.2. Densidad

La densidad del polímero registró valores de 0,81 g/cm<sup>3</sup> cuando se adiciona 225ml de agua a 1,00 g/cm<sup>3</sup> con 175 ml de agua , que estadísticamente son iguales ( $P > 0,05$ ) y que denotan que no influyeron los niveles de agua utilizados, mientras que por efecto de los niveles de glicerina no se reconocieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) registrándose valores que variaron de 1,12 g/cm<sup>3</sup> cuando se adicionó 20 ml de glicerina a 0,88 g/cm<sup>3</sup> con 15 ml de glicerina, lo que demuestra que

la densidad tampoco se ve afectada por la cantidad de glicerina utilizada, de igual manera por efecto de la interacción entre agua y glicerina las densidades no registraron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), por cuanto los valores variaron entre  $0,62 \text{ g/cm}^3$  a  $1,44 \text{ g/cm}^3$  cuando se utilizó 225 ml con 25 ml y 200 ml con 20 ml de agua y glicerina respectivamente, valores que estadísticamente son iguales, notándose que por consiguiente que los niveles de agua y glicerina estudiados no influyen en la densidad del biopolímero degradable.



**Ilustración 3-3:** Densidad de biopolímeros con la adición de diferentes niveles de agua

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

Los resultados obtenidos se contraponen con lo señalado por (Heredia, y otros, 2019), quienes mencionan que la densidad del biopolímero dependerá de la cantidad de glicerina que se utilice en la mezcla debido a que a mayor cantidad de glicerina la densidad tiende a aumentar; además al evaluar el polímero biodegradable obtenido del extracto de almidón señala que este tiene una densidad entre  $2,32$  y  $1,35 \text{ g/cm}^3$  que es superior a la mayoría de los polímeros termo convencionales. En el mismo sentido los resultados obtenidos son inferiores a los reportados por Demera y Meza (2021) quienes al obtener el biopolímero elaborado con diferentes relaciones agua – almidón establecieron que este producto presenta una densidad entre  $1,03$  a  $1,05 \text{ g/cm}^3$ , notándose por lo contrario que los resultados obtenidos guardan relación con el reporte de Rosales (2016) quien estableció que los biopolímeros obtenidos del suero de leche presentan una densidad de  $0,93 \text{ g/cm}^3$ .

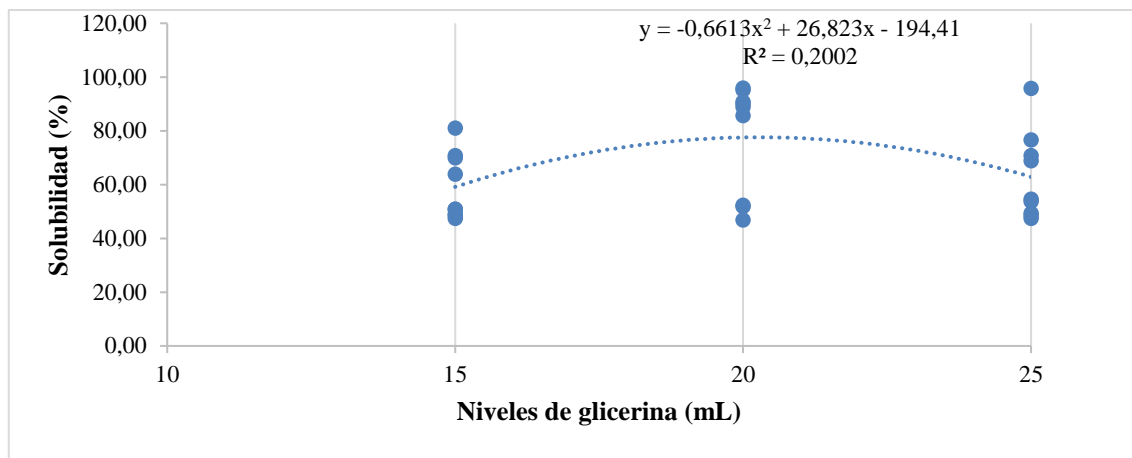
### **3.3.3. Absorción de agua**

La absorción de H<sub>2</sub>O del biopolímero registro valores que van desde 1,46 a 2,22 g cuando se emplearon 200 ml y 225 ml de agua respectivamente, que estadísticamente son iguales ( $P > 0,05$ ), lo que indica que los niveles de agua no influyen en la absorción de agua en polímero biodegradable; al igual que los niveles de glicerina añadidos tampoco registraron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), ya que presentan valores que van de 1,17 a 2,34 g cuando se emplean 15 y 20 ml de glicerina respectivamente lo que demuestra que tampoco influye la cantidad de agua y glicerina utilizadas dentro de la absorción de agua ; en la interacción de glicerina y agua, no afecta los resultados por cuánto estos variaron de 0,79 g en una combinación de 15 ml de glicerina y 175 ml de agua a 2,10 g en una combinación de 20 ml de glicerina y 200 de agua; por lo que se establece que la adición de agua y glicerina en la elaboración del biopolímero no influye en la absorción de agua, sin embargo Heredia et al. (2019), mencionan que, a mayor cantidad de glicerina que se emplee tendrá una menor absorción de agua, también indica que a mayor cantidad de glicerina el biopolímero presentara una mayor resistencia al contacto con agua es decir impide la absorción del líquido, por cuanto al elaborar su polímero en base a almidón determino respuestas de la absorción entre 0,62 a 0,75 %, lo que demuestra que los polímeros elaborados en el presente trabajo tiene una mayor capacidad de absorción de agua; diferencias que pueden deberse a lo señalado por Gonz (2018, p. 35-44), quienes mayor contenido de glicerina, alcohol polivinílico, hidroximetilcelulosa los polímeros biodegradables se vuelven más resistentes al ataque del agua, esto se atribuye a que son sustancias que repelen al agua por lo tanto disminuyen la absorción de agua al almidón lo que evita que el material sea frágil, además propiedades como esfuerzo y elongación pueden mantenerse constantes Heredia et al. (2019).

### **3.3.4. Solubilidad en agua**

El polímero presenta valores de solubilidad en agua entre 61,15 y 69,39 % cuando se emplearon 225 y 175 ml, respectivamente valores que estadísticamente son iguales ( $P > 0,05$ ); en tanto por efecto de los niveles de niveles de glicerina las respuestas encontradas presentaron diferencias altamente significativas por cuanto se estableció que al emplear 15 ml de glicerina el nivel de absorción del agua fue de 58,52% mientras que al emplearse 20 ml de glicerina el nivel de absorción se elevó al 76,21 %, por lo que mediante el análisis de regresión, se estableció una tendencia cuadrática que determina que cuando se utiliza niveles hasta el 20 ml de glicerina, la absorción de agua tiende a incrementarse. pero con niveles superiores tiene a reducirse

ligeramente, por lo que se puede considerar que el nivel óptimo de utilización de glicerina sería 20 ml que es donde se obtiene el mayor valor de solubilidad del biopolímero.



**Ilustración 4-3:** Solubilidad en agua de biopolímeros según los niveles de glicerina.

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

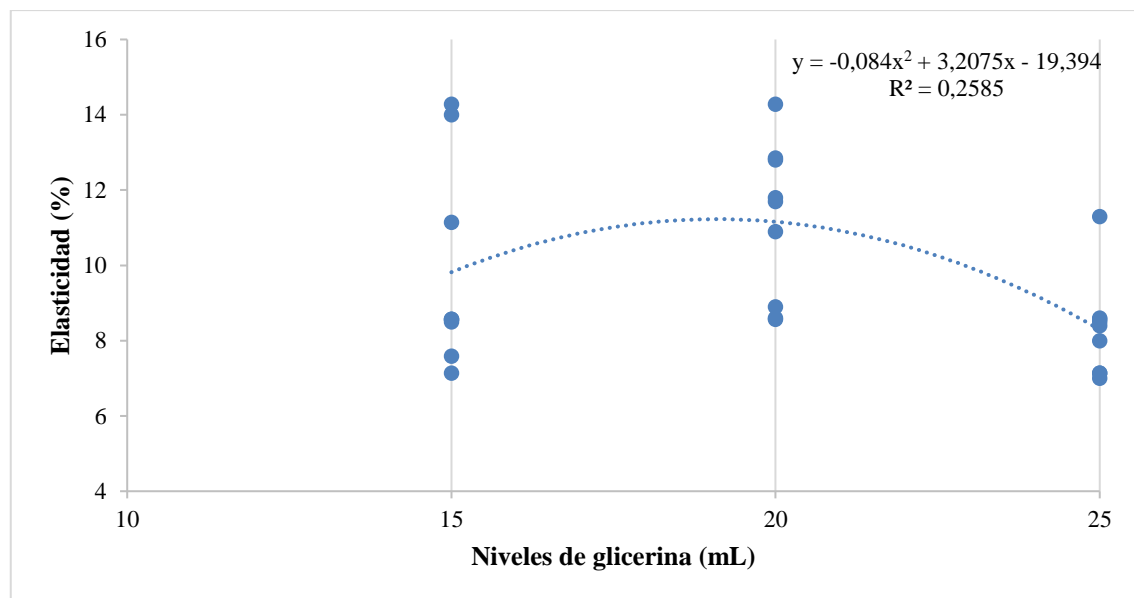
Considerando el efecto de la interacción entre niveles de agua y niveles de glicerina las respuestas determinadas determinaron diferencias altamente significativas ( $P > 0,01$ ), estableciéndose las mejores respuestas cuando se utilizan 175 ml de agua con 20 ml de glicerina así como 200 ml de agua y 20 ml de glicerina ya que presentaron valores de solubilidad de 89,87 y 92,16 % en su orden, a diferencia que al emplearse las relaciones agua-glicerina: 175- 15; 200-15; 225-20 los biopolímeros obtenidos presenta los menores índices de solubilidad que corresponden a 49,19, 56,10, y 50,41%, respectivamente.

Los resultados obtenidos presentan ser superiores a los obtenidos por Heredia et al. (2019), quien al evaluar el biopolímero obtenido, estableció solubilidades entre 76,66 y 84,90 %, indicando que la concentración de la glicerina (utilizado como plastificante) afectan el coeficiente solubilidad en las películas y consecuentemente la permeabilidad al vapor del agua; razón por la cual el polímero obtenido en el presente trabajo presenta mejores índices de solubilidad, ya que el investigador citado (Heredia, y otros, 2019) indica al haber utilizado 2,5 ml de glicerina se observó una solubilidad del 76,66 %, mientras que al utilizar 6 ml de glicerina la solubilidad fue de 80,90 %; por lo que se debe tomar en consideración lo señalado por Sánchez et al. (2015, pp. 17-25) quien indica que la alta solubilidad en agua de los biopolímeros es deseada, principalmente cuando el material aplicado como una matriz comestible.

### 3.3.5. Elasticidad

La elasticidad del biopolímero no presenta diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), por efecto de los niveles de agua utilizados, por cuanto los valores determinados fueron de 9,18 % cuando se emplearon 200 y 225 ml de agua, a diferencia que cuando se empleó 175 ml de agua la elasticidad fue de 11,09 %, valores que estadísticamente no son diferentes, por lo que numéricamente existe una ligera superioridad con la menor cantidad de agua.

Por efecto de los niveles de glicerina se determinó que diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), en las respuestas de elasticidad del biopolímero, registrándose una mayor elasticidad (11,09 %) cuando se emplea 20 ml de glicerina y una menor elasticidad (8,24 %) cuando se utilizó 25 ml de glicerina.



**Ilustración 5-3:** Elasticidad de biopolímeros según los niveles de glicerina

**Realizado por:** Loor, Daniela, 2023.

Por efecto de la interacción los niveles de agua y glicerina las respuestas de elasticidad no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), por cuanto los valores encontrados variaron entre 7,40 % cuando se empleó 200 ml de agua con 25 ml de glicerina y 13,47 % con la utilización de 175 ml de agua con 15 ml de glicerina, valores que estadísticamente no son diferentes; por lo que podría indicarse que la elasticidad del biopolímero obtenido del almidón de quinua está influenciado por los niveles de glicerina más no por efecto de agua utilizados.



Los resultados de la elasticidad obtenidos presentan ser superiores a los indicados por Meneses (2007, pp. 57-67). Quien indica que la elasticidad de los polímeros biodegradables obtenidos a partir del almidón de yuca es de 1,28 Mpa, igualmente también son superiores con respecto al trabajo realizado por Heredia et al. (2019), quienes indicaron que la elasticidad del biopolímero de almidón de yuca presentan elasticidades entre 2,01 y 2,05 en Mpa; pero en todo caso las respuestas encontradas y las respuestas citadas están muy por debajo de Quiñonez (2015), quien señala que los plásticos convencionales de acuerdo a la norma ASTM D 638 los valores de elasticidad son de 14 a 140 Mpa.

## CONCLUSIONES

- Se estudió el efecto de diferentes dosificaciones de aditivos, sobre las propiedades de un biopolímero obtenido a partir de almidón de quinua y se identificó que la cantidad de aditivos influyen en las propiedades del biopolímero.
- Los efectos producidos por cada uno de los factores sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas suelen variar de acuerdo con la cantidad que se coloca dentro de la formulación, teniendo mayor influencia la cantidad de glicerina que se añade, debido a que, al actuar como un plastificante, los comportamientos del biopolímero van a variar en relación con su proporción de glicerina.
- Se determinó que la mejor formulación es la que corresponde al tratamiento T5, cuando se utilizaron 200 ml de agua y 20 ml de glicerina, obteniéndose el polímero que, entre todos los elaborados, presentó la mejor combinación de propiedades: mayor transparencia (1er lugar), mayor intensidad en presencia de grupos funcionales, segunda mejor elasticidad (12,53%), mayor solubilidad en agua (92,16 %), absorción de agua intermedia (2,10 g/muestra), mayor densidad (1,44 g/cm<sup>3</sup>) y temperatura de gelatinización intermedia (110,25 °C) .

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tener en cuenta las formulaciones para la elaboración del biopolímero degradable, debido a que al no tener las cantidades correspondientes se pueden presentar grietas durante el secado del biopolímero.
- Durante el secado del biopolímero, es recomendable mantener los biopolímeros en un lugar fresco y libre de la luz directa del sol, ya que es posible que al secarse pierdan sus propiedades fisicoquímicas, evitando así que se puedan elaborar posteriores estudios a los biopolímeros.
- Se recomienda que se continúe la investigación de los biopolímeros a partir de almidón de quinua, ya que pueden ser de gran utilidad dentro de la industria de los empaques.

## BIBLIOGRAFÍA

**AMADOR, Juan; et al.** “Obtención de azúcares reductores (glucosa) a partir de granos de quinua (*Chenopodium quinoa*) usando hidrólisis enzimática, ácida y el metabolismo de la embriogénesis vegetal”. *CON-CIENCIA* [en línea], 2016, 4(1), pp. 61-71. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2310-0265. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652016000100006&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652016000100006&script=sci_abstract)

**AMAYA, Mayra; et al.** *La hidrólisis del almidón: Una necesidad en la industria* [blog]. 2019. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/379-numero-44/702-la-hidrolisis-del-almidon-una-necesidad-en-la-industria.html?tmpl=component&print=1>

**ARZAPALO, Doyla; et al.** “Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca Junín”. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2015, 81(1), pp. 44-54. [Consulta: 12 marzo 2023]. ISSN 2309-8740. Disponible en: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i1.9>

**BADUI, Salvador.** *Química de los alimentos*. [en línea]. 4ª Ed. México: Pearson Educación, 2006. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISBN 970-26-0670-5. Disponible en: <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>

**CUEVAS CARBALLO, Zujey Berenice.** Obtención y caracterización de almidones termoplásticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliésteres biodegradables [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, México. 2017. p.110. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/466>

**CUNALATA GALLEGOS, Jenny Leidy.** Elaboración de un biopolímero a partir del almidón de la cáscara de trigo (*Triticum aestivum l.*) [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. p.116. [Consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.espacech.edu.ec/handle/123456789/14793>

**DANTE, Pablo; et al.** *Serie Estudios para la Innovación FIA - Potencial competitivo de la quinua chilena*. [en línea]. 1ª Ed. Chile: Fundación para la Innovación Agraria. ISBN 978-956-328-202-3. Disponible en: <https://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/02/Quinua.pdf>

**EHMAN, Nancy., & AREA, María.** “Bioplastics are revolutionizing the packaging industry” *BioResources* [en línea], 2021, 16(3), pp. 4663-4666. ISSN 19302126. [Consulta: 02 abril 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.15376/biores.16.3.4663-4666>

**ENRÍQUEZ, Mario; et al.** “Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial” *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* [en línea], 2012, 10(1). pp. 180-195. ISSN 12812. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/239688429\\_Composicion\\_y\\_procesamiento\\_de\\_películas\\_biodegradables\\_basadas\\_en\\_almidon](https://www.researchgate.net/publication/239688429_Composicion_y_procesamiento_de_películas_biodegradables_basadas_en_almidon)

**ESPINOZA PÉREZ, Gabriel Armando.** Elaboración de un biopolímero para uso agroindustrial a partir de suero de leche [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. 2020. p. 81. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12183>

**FAO.** *Propiedades nutricionales de la Quinua* [blog]. 2023. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/alimento-nutritivo/es/>

**FAO.** *Biodiversidad de la Quinua* [blog]. 2023. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/biodiversidad-de-la-quinua/ru/>

**FAO.** *Quinua* [blog]. 2023. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/quinoa-2013/es/>

**HEREDIA JARA, Daniel, & PULGAR ASTUDILLO, Lesslie.** Comparación de dos métodos de extracción de almidón de *Colocasia esculenta* (*Malanga blanca*) para la obtención de un polímero biodegradable [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. p.162. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/13256>

**LEÓN, Glicerio; et al.** “Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética” *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* [en línea], 2020, 39(5), pp. 620-626. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/html/>

**MUJICA, Ángel; et al.** *Informe final proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos* [en línea]. Lima : Universidad Nacional de Colombia. 2006. [Consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-01-K01-FinalReport.pdf>

**PALMA, Irene.** *Almidón resistente: mejora tu salud intestinal.* [blog]. 2020. [Consulta: 02 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/consejos-de-salud-consejos-de-salud/almidon-resistente-prebiotico/>

**PERALTA, Eduardo.** *La Quinoa en Ecuador “Estado del Arte”* [en línea]. Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2009. [Consulta: 11 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/805/1/iniapsclgaq1.pdf>

**RIQUELME, Andrea.** *Nutricionistas de la Pontificia Universidad Católica de Chile promueven la Quínoa* [blog]. 2018. [Consulta: 01 julio 2023]. Disponible en: <https://nutricion.uc.cl/noticias/nutricionistas-uc-promueven-la-quinua/#:~:text=El%20valor%20nutricional%20de%20la,de%20hierro%2C%20entre%20algunos%20nutrientes>

**ROSALES, Abigail.** Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo–Abril 2016 [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. 2016. p.79. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO.** *Polímeros Biodegradables.* [blog]. 2017. [Consulta: 03 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisicoquimica/wp-content/uploads/2017/07/polimeros-biodegradables.pdf>

**URGILÉS CAUJA, Raúl Gerardo.** Obtención de un biopolímero a partir de melloco (*Ullucus tuberosus*) para el uso como embalaje para alimentos [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. p.104. [Consulta: 12 marzo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16926>

**DEMERA VELÁSQUEZ, Luis, & MEZA ANDRADE, Kevin.** Obtención de biopolímero evaluando el almidón de dos variedades de malanga, blanca (*Colocasia esculenta* (L.) Schoot) y morada (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schoot & Endl), dos espesantes y relación agua-almidón para la producción de empaques biodegradables [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Santo Domingo, Ecuador. 2021. p.83. [Consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/24113>

**VILLARROEL, Pía; et al.** “Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos”. *Revista chilena de nutrición* [en línea], 2018, 45(3), pp. 271-278. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0717-7518. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>

**ZÁRATE POLANCO, Laura Marcela.** *Almidón de quinua, una opción para sopas, panes y otros alimentos* [blog]. 2019. [Consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.dicyt.com/noticias/almidon-de-quinua-una-opcion-para-sopas-panes-y-otros-alimentos>



## ANEXOS

### ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN



**Ilustración 1:** pesado de la harina de quinua



**Ilustración 2 :** triturado del almidón



**Ilustración 3:** producto final



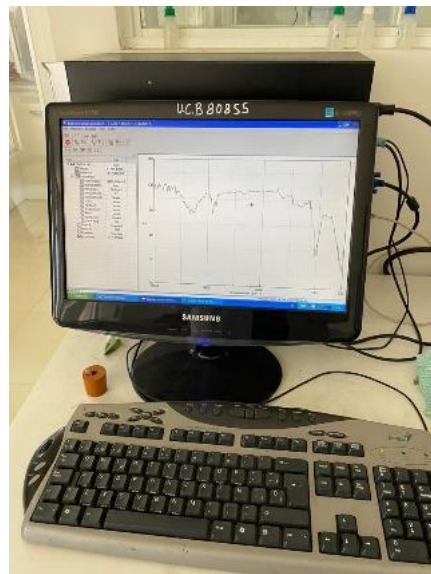
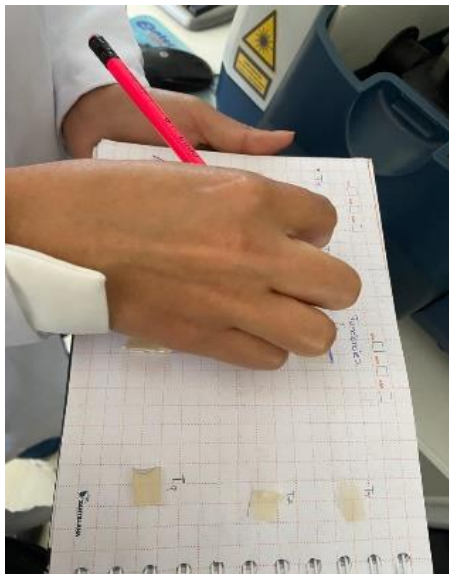
## ANEXO B: ELABORACIÓN DEL BIOPOLÍMERO



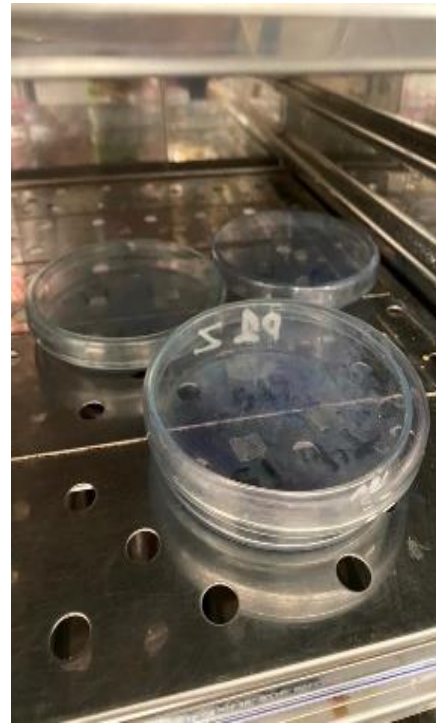
## ANEXO C: PRUEBA DE GRANULOMETRÍA



## ANEXO D: PRUEBAS DE GRUPOS FUNCIONALES



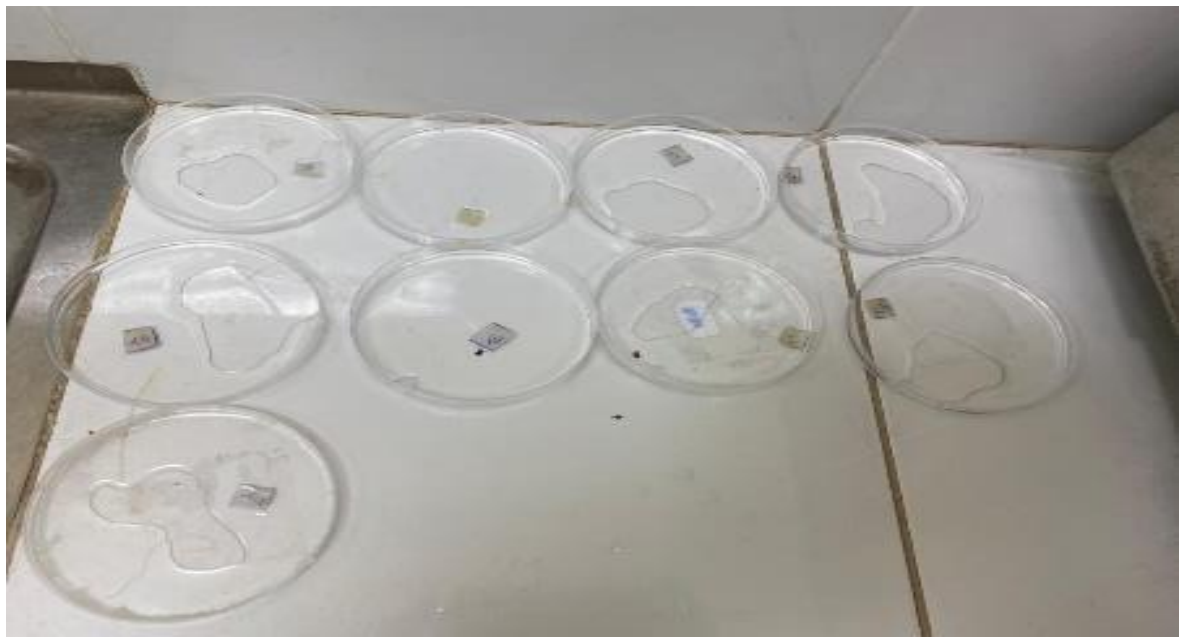
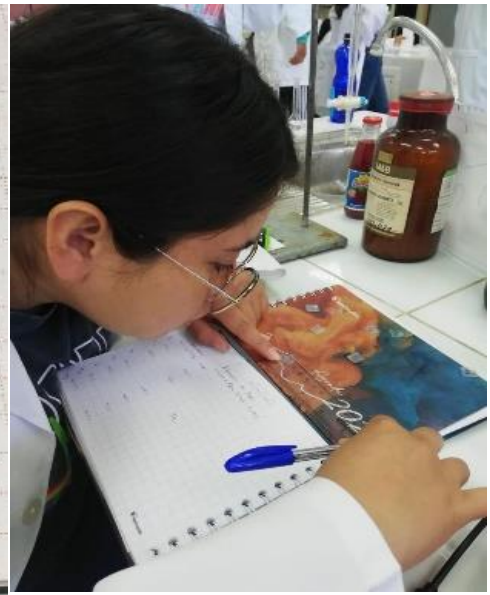
## ANEXO E: PRUEBAS DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN



## ANEXO F: PRUEBA DE ELASTICIDAD



# ANEXO G: PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA.



## ANEXO H: PRUEBA DE SOLUBILIDAD EN AGUA



**ANEXO I: DETERMINACIÓN DE TRANSPARENCIA**





**ANEXO J: TABLA RESUMEN PARA RESULTADOS**

<b>Repeticiones</b>	<b>Agua</b>	<b>Glicerina</b>	<b>Elongación(%)</b>	<b>Densidad</b>	<b>Absorción</b>	<b>Solubilidad</b>	<b>temperatura</b>
1	225	25	8,5	0,62	2,5	48,54	108,2
2	225	25	8,6	0,64	1,3	47,47	112
3	225	25	8,57	0,62	16,32	95,78	107,8
1	200	25	8,00	1,53	0,82	53,80	105,8
2	200	25	7,00	0,99	0,78	49,30	112
3	200	25	7,14	1,53	1,22	54,62	100,9
1	175	25	8,40	0,58	1,54	68,90	100
2	175	25	11,30	1,60	0,72	70,80	107
3	175	25	7,14	0,87	2,5	76,59	90,8
1	225	20	11,70	0,67	0,95	51,90	90
2	225	20	8,90	1,90	1,89	46,90	101,1
3	225	20	8,57	0,57	0,72	52,38	102
1	200	20	11,80	1,70	1,96	90,10	108
2	200	20	12,80	1,78	1,87	90,80	112,5
3	200	20	12,86	0,58	2,5	95,93	110
1	175	20	10,90	1,36	0,89	85,70	112,5
2	175	20	8,60	0,80	0,9	88,90	100
3	175	20	14,29	1,40	18,53	95,23	105
1	225	15	11,14	0,76	1,4	70,80	110,8
2	225	15	8,50	0,90	0,98	81,00	120,8
3	225	15	8,57	0,89	1,56	63,91	105,2
1	200	15	8,57	0,94	0,89	50,90	100,6
2	200	15	7,14	0,85	2,09	69,90	120,7
3	200	15	8,57	0,94	1,48	48,54	120,8
1	175	15	14,29	0,87	0,74	49,00	112,7
2	175	15	7,59	0,89	0,72	50,80	112,7
3	175	15	20,00	0,87	0,95	47,47	112,7

## ANEXO K: TABLA DE RESULTADOS

### Análisis de la varianza

#### Agua

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Agua	27	0.00	0.00	10.83

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	2	0.00	0.00	>0.9999
Repeticones	0.00	2	0.00	0.00	>0.9999
Error	11250.00	24	468.75		
Total	11250.00	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=25.48783

Error: 468.7500 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
3	200.00	9	7.22 A
2	200.00	9	7.22 A
1	200.00	9	7.22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Glicerina

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Glicerina	27	0.00	0.00	21.65

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	2	0.00	0.00	>0.9999
Repeticones	0.00	2	0.00	0.00	>0.9999
Error	450.00	24	18.75		
Total	450.00	26			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.09757

Error: 18.7500 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
3	20.00	9	1.44 A
2	20.00	9	1.44 A
1	20.00	9	1.44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

#### % Elongacion

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Elongacion	27	0.07	0.00	29.89

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.00	2	7.50	0.84	0.4428
Repeticones	15.00	2	7.50	0.84	0.4428
Error	213.51	24	8.90		
Total	228.51	26			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.51128

Error: 8.8963 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
3	10.63	9	0.99 A
1	10.37	9	0.99 A
2	8.94	9	0.99 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## Densidad

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Densidad	27	0.10	0.03	215.59

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	2	0.04	1.36	0.2755
Repeticones	0.08	2	0.04	1.36	0.2755
Error	0.75	24	0.03		
Total	0.83	26			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20774

Error: 0.0311 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
1	0.16	9	0.06 A
2	0.05	9	0.06 A
3	0.03	9	0.06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Absorción

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Absorción	27	0.18	0.11	160.86

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	87.21	2	43.60	2.60	0.0949
Repeticones	87.21	2	43.60	2.60	0.0949
Error	402.30	24	16.76		
Total	489.50	26			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.81980

Error: 16.7623 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
3	5.09	9	1.36 A
1	1.30	9	1.36 A
2	1.25	9	1.36 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Solubilidad

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Solubilidad	27	0.02	0.00	27.95

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	206.73	2	103.36	0.30	0.7442
Repeticones	206.73	2	103.36	0.30	0.7442
Error	8293.50	24	345.56		
Total	8500.23	26			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.88394

Error: 345.5625 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
3	70.05	9	6.20 A
2	66.21	9	6.20 A
1	63.29	9	6.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## temperatura

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
temperatura	27	0.11	0.03	7.66

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	200.02	2	100.01	1.46	0.2519
Repeticones	200.02	2	100.01	1.46	0.2519
Error	1642.71	24	68.45		
Total	1842.73	26			

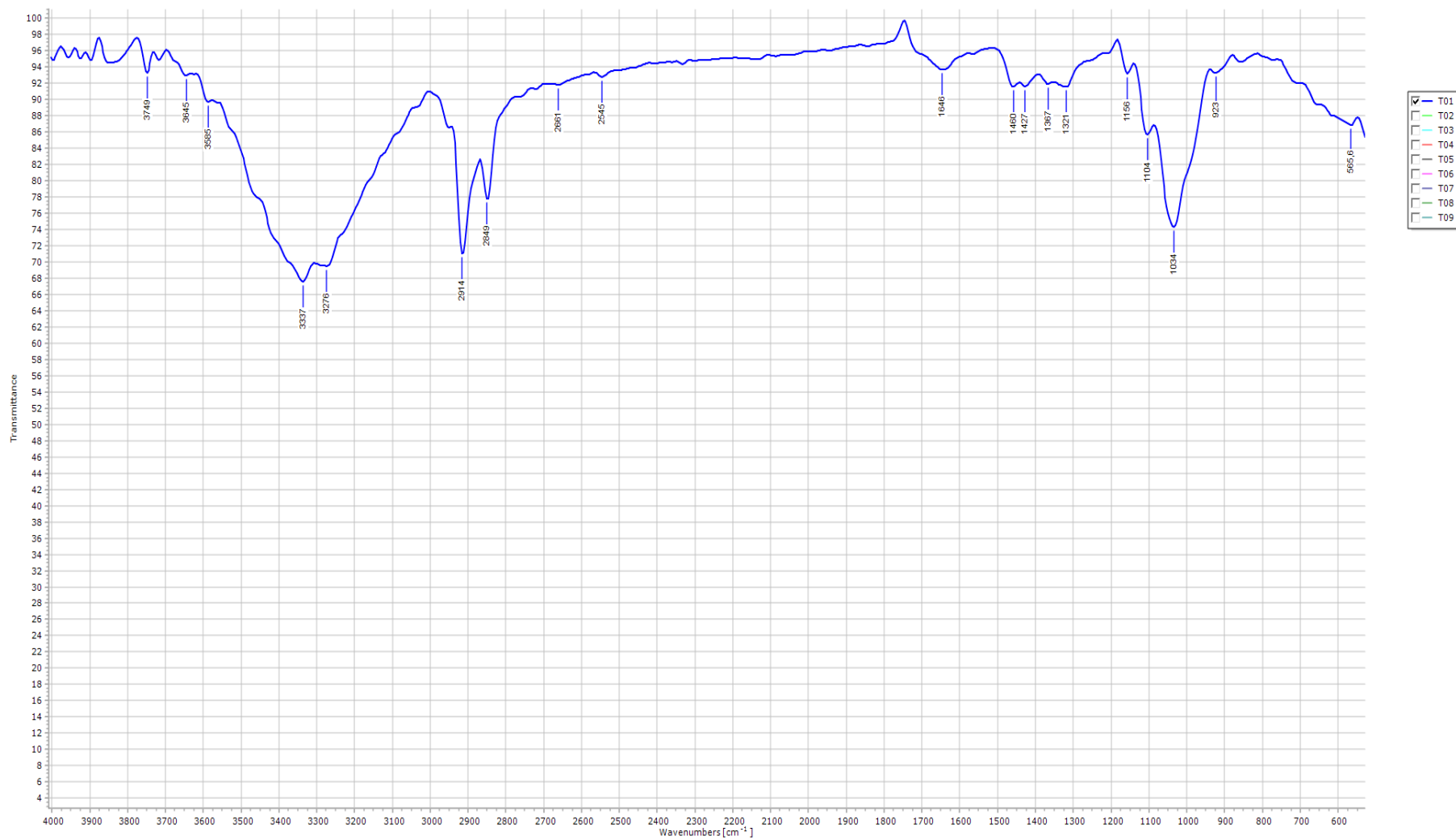
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.73951

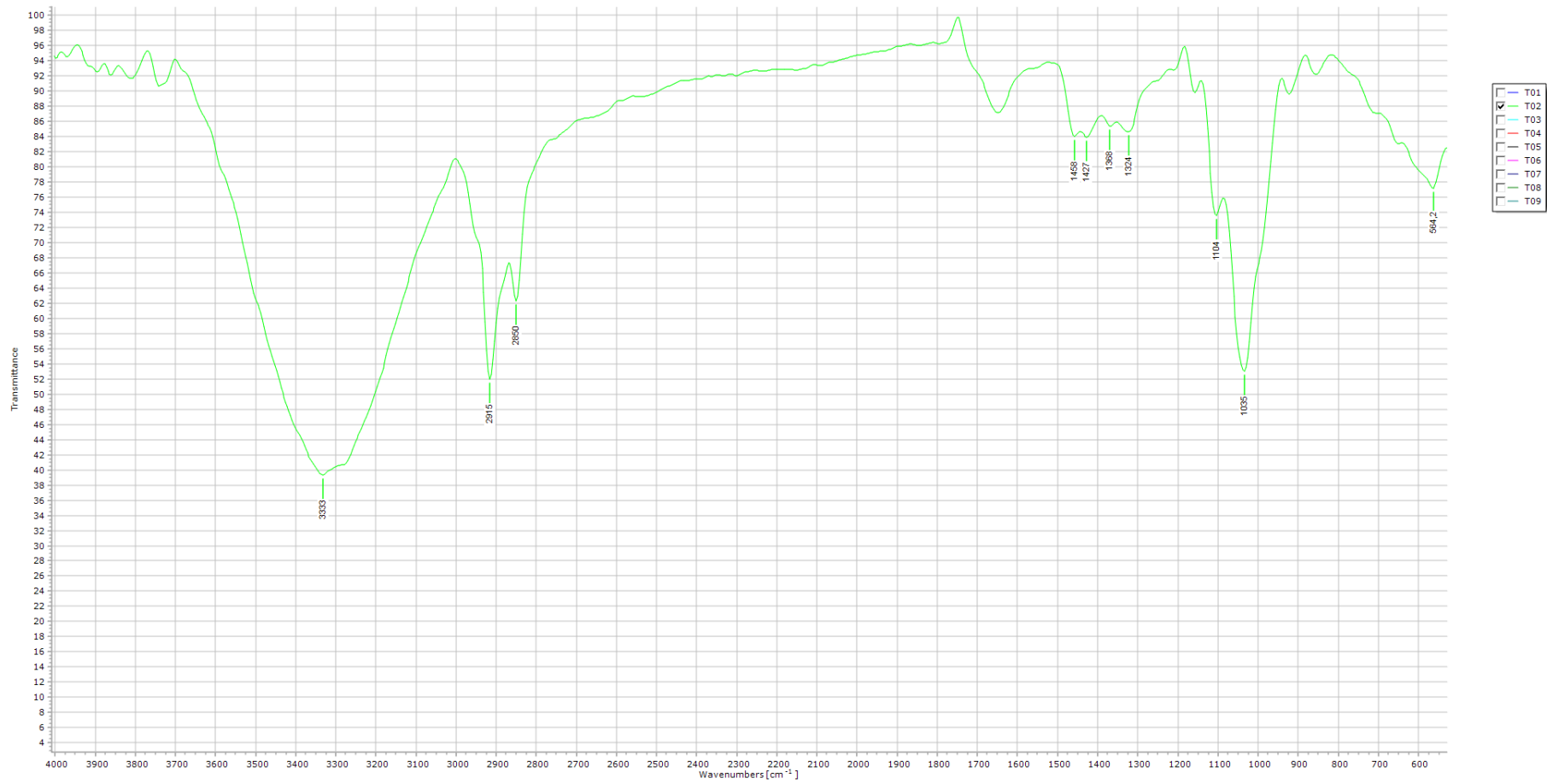
Error: 68.4463 gl: 24

Repeticones	Medias	n	E.E.
2	111.79	9	2.76 A
3	106.94	9	2.76 A
1	105.40	9	2.76 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

# ANEXO L: ESPECTROS FTIR

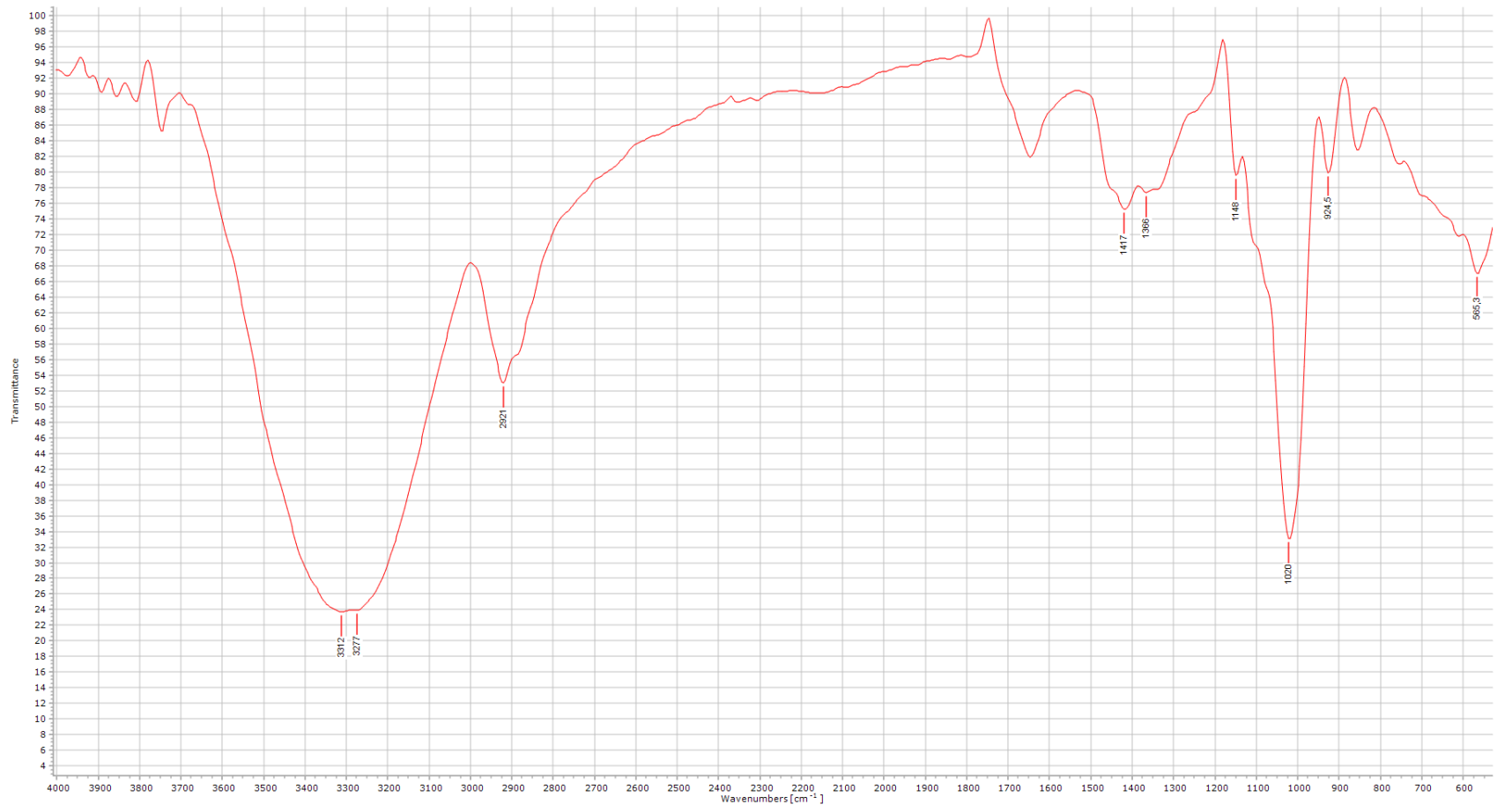






- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09





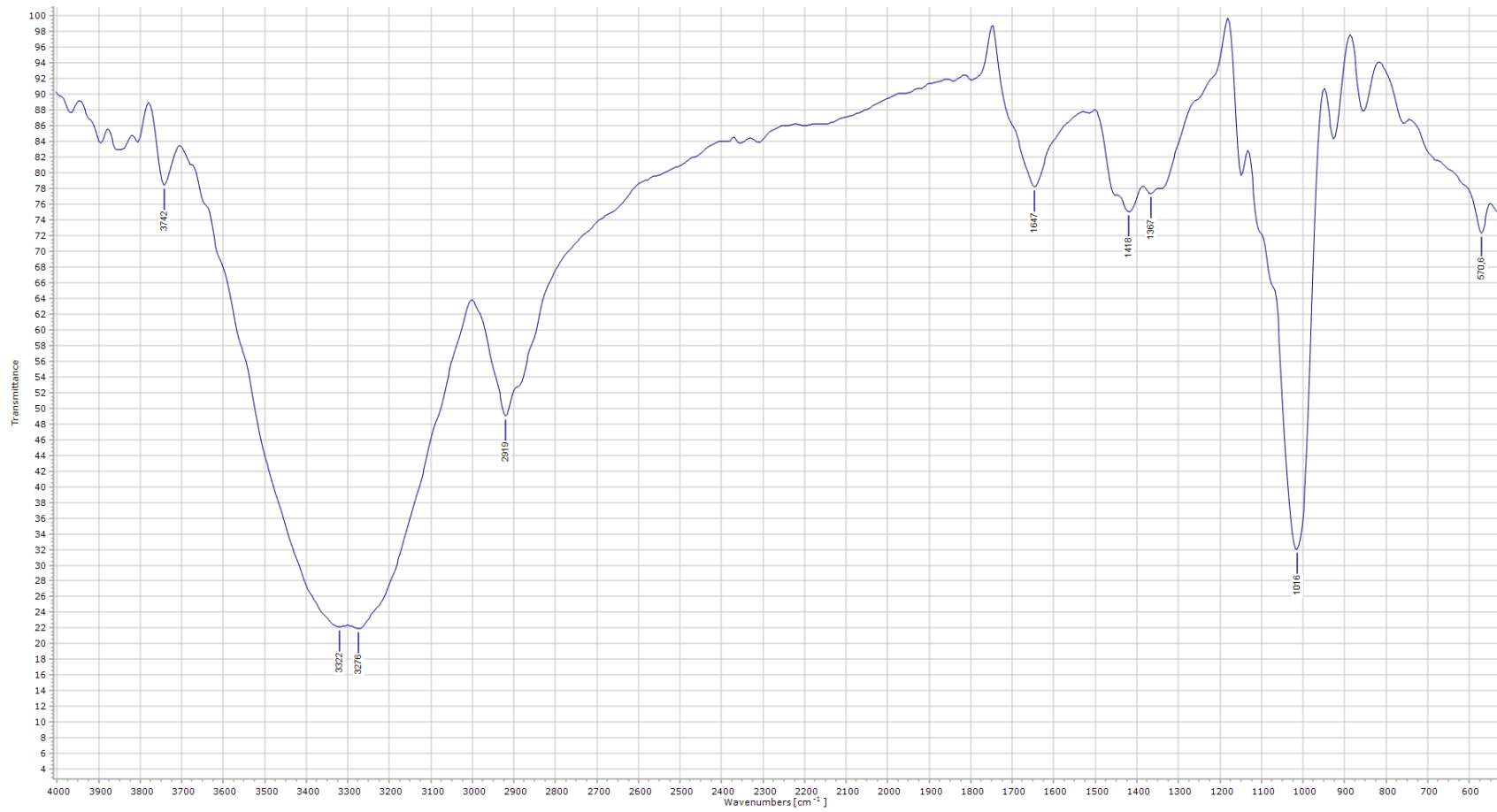
- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09



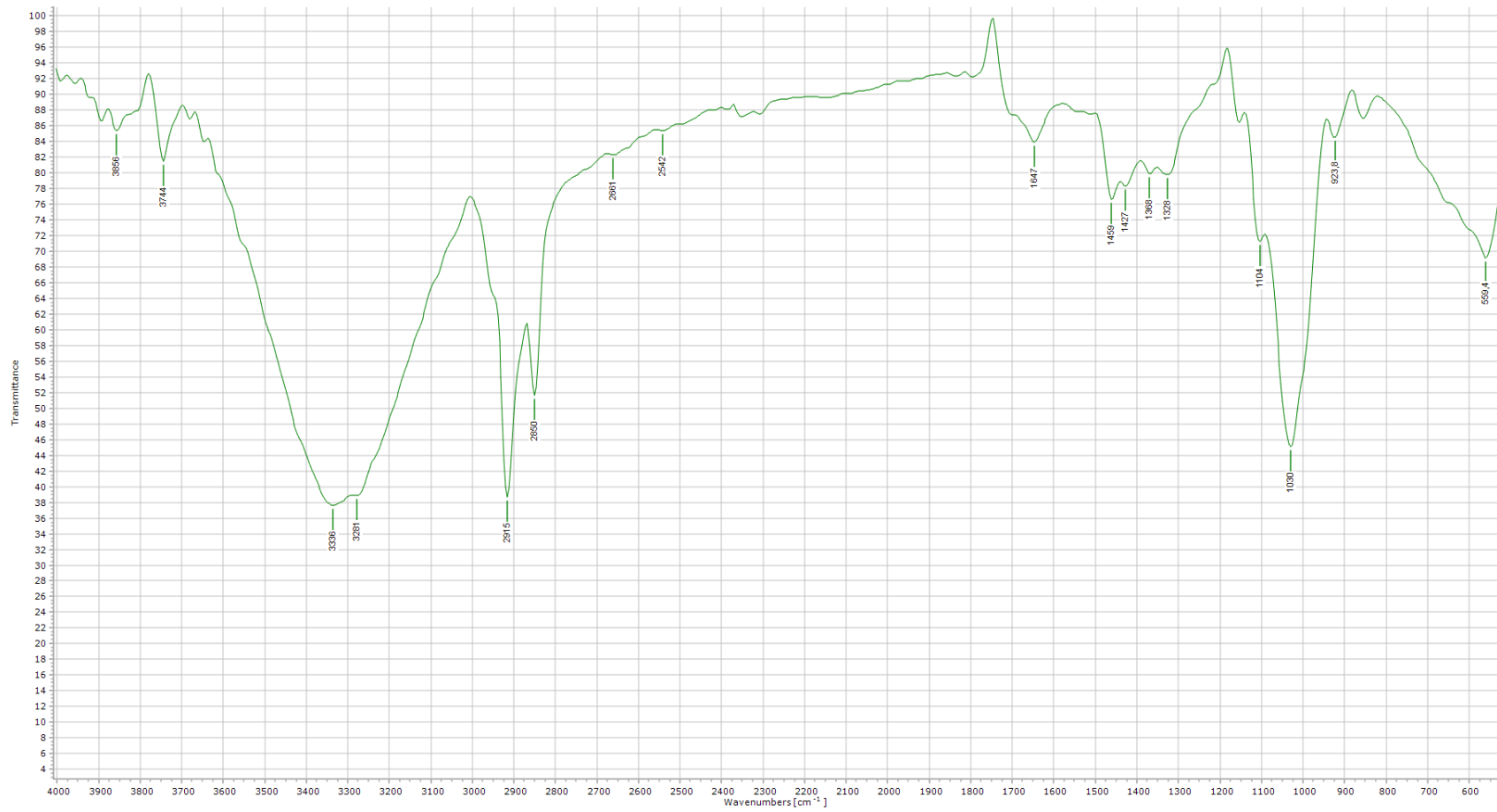
- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09



- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09



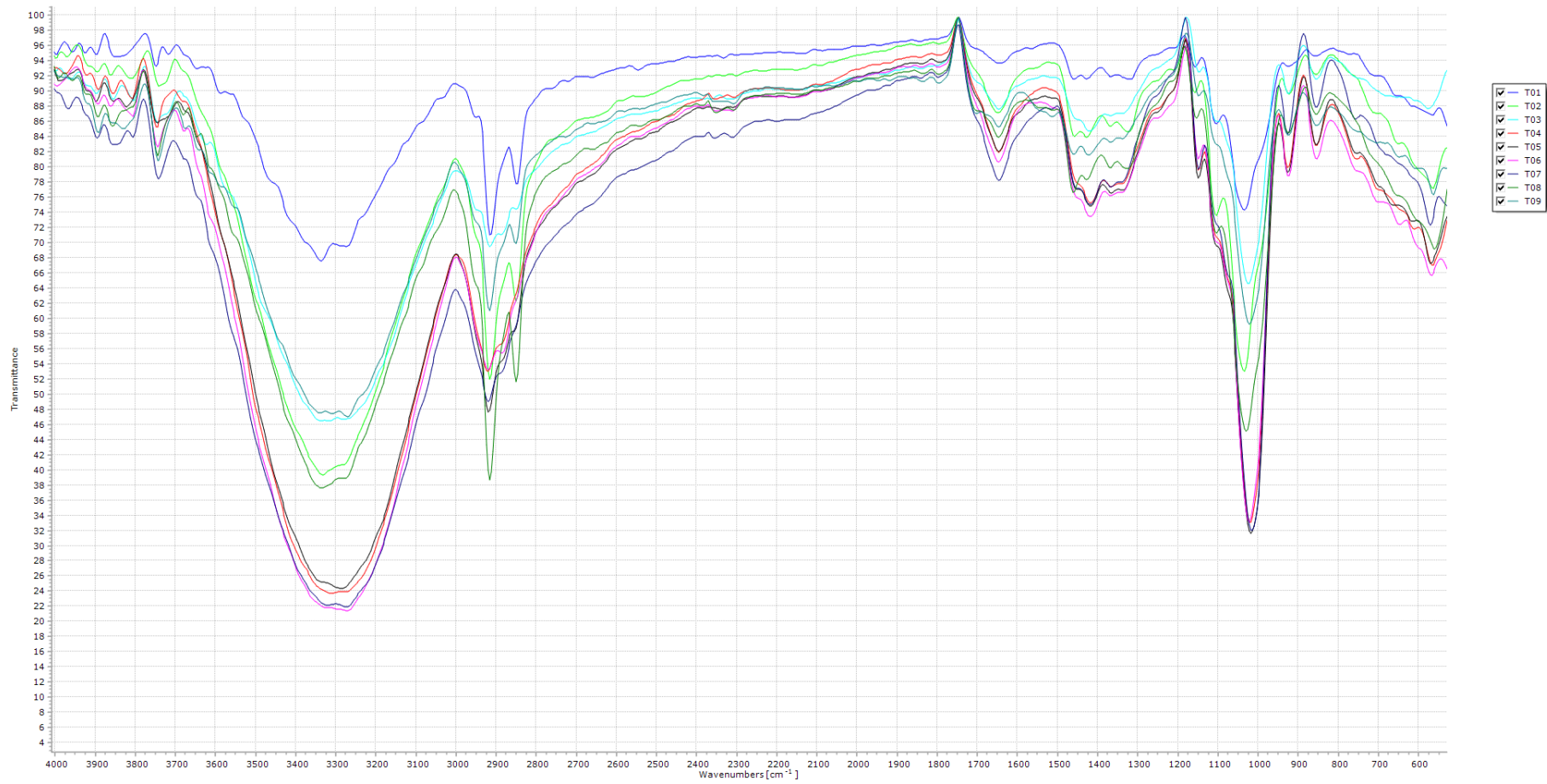
- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09



- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09




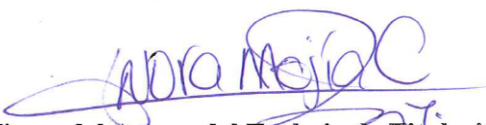
- T01
- T02
- T03
- T04
- T05
- T06
- T07
- T08
- T09





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 19/ 01/ 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Daniela Irene Loor Cruz
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias Pecuarias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Industrias Pecuarias
<b>Título a optar:</b> Ingeniera en Industrias Pecuarias
 <b>Firma del Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Firma del Asesor del Trabajo de Titulación</b>