UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

PREPARACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA CHINA (COLOCASIA ESCULENTA) PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS

CUENCA TORRES MICHELLE ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MONCADA AVILA MARJORIE MISSHELL
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2020

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

PREPARACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA CHINA (Colocasia esculenta) PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS

CUENCA TORRES MICHELLE ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MONCADA AVILA MARJORIE MISSHELL
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2020

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

PREPARACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA CHINA (Colocasia esculenta) PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS

CUENCA TORRES MICHELLE ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MONCADA AVILA MARJORIE MISSHELL
INGENIERA EN ALIMENTOS

PESANTEZ FREDIS FRANCO

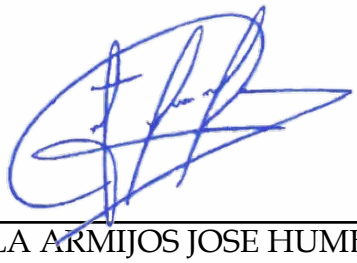
MACHALA, 06 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

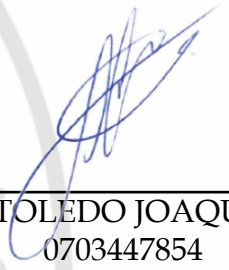
Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado PREPARACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA CHINA (Colocasia esculenta) PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

PESANTEZ FREDIS FRANCO
0703244012
TUTOR - ESPECIALISTA 1



AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO
0704018803
ESPECIALISTA 2



SIGUENZA TOLEDO JOAQUIN DARWIN
0703447854
ESPECIALISTA 3

Machala, 06 de mayo de 2020

Michelle Cuenca

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	0%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
2	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
5	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%
6	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	avibert.blogspot.co.uk Fuente de Internet	1%
9	www.agronomia.unal.edu.co Fuente de Internet	1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, CUENCA TORRES MICHELLE ESTEFANIA y MONCADA AVILA MARJORIE MISSHELL, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado PREPARACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA CHINA (Colocasia esculenta) PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 06 de mayo de 2020

CUENCA TORRES MICHELLE ESTEFANIA
0706414612

MONCADA AVILA MARJORIE MISSHELL
0707077202

DEDICATORIA

A mis amados padres Zancibar y Gladys por estar siempre a mi lado brindándome su amor, sacrificio y por enseñarme que con valores, perseverancia, dedicación cumplimos nuestras metas, a mis queridos hermanos Darwin y Yuleisi por estar siempre conmigo y darme sus consejos, a mi padrino Victor por su motivación y apoyo incondicional.

A mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida compartiendo momentos de alegría, tristeza y demostrar su cariño.

A mis amigos por estar pendientes de mí, en las situaciones más difíciles con cada detalle y opinión que me brindaron a lo largo de este proceso universitario.

Marjorie Misshell Moncada Avila

Este logro se lo dedico a mi abuelito Franco Cuenca Córdova, quien en vida me dio sombra de padre, brindándome siempre su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos de mi vida. Por haberme inculcado principios, virtudes y valores como la responsabilidad y deseos de superación que me han formando como la persona que soy en la actualidad.

Dedico también de manera especial a mi familia como a mi abuelita, tias, tios como a mis padres que me han ofrecido amor y ganas de superación para alcanzar mis metas y sueños como persona y futura profesional.

A una persona muy especial que me supo escuchar y motivar en mis momentos más difíciles, por el tiempo y esfuerzo que dedico en compartir sus conocimientos a lo largo de todo este recorrido de mis estudios universitarios.

Michelle Estefania Cuenca Torres

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme vida, salud y por permitirme culminar una etapa más ya que siempre ha estado conmigo en todo momento y situaciones difíciles para mí.

A mis padres por brindarme sus consejos, confianza, apoyo y acompañarme a lo largo de estos años de mi ciclo académico.

A la Universidad Técnica de Machala a los docentes por sus enseñanzas y compromiso con los estudiantes. A mi tutor Dr. Qco. Ind. Fredis Franco Pesantez Mg, E.F por su paciencia, dedicación y por impartir sus conocimientos en esta investigación.

Marjorie Misshell Moncada Avila

Agradezco primeramente a Dios por permitirme gozar de buena salud además de la paciencia y las fuerzas necesarias que me dio para culminar este trabajo de investigación.

A mi abuelito por haberme enseñado que en esta vida todo lo que uno se proponga se cumple con esfuerzo, trabajo y constancia ya que en esta vida nada es gratis y nadie lo va hacer mejor que uno mismo.

Al resto de quienes conforman mi familia como abuelita, tias, tios y a mis padres quienes me apoyaron en darme una buena educación,enseñando a confiar en mis propias decisiones y ver de una forma diferente las lecciones de vida que uno debe ir afrontando en el transcurso del que vivir.

A la Universidad Técnica de Machala, a los Docentes que en el transcurso de la carrera han dedicado su tiempo, compromiso y sobre todo han compartido sus conocimientos, experiencias, enseñanzas, valores de superación con los estudiantes, y a mis compañeros.

A mi tutor Dr. Qco. Ind. Fredis Franco Pesantez Mg, E.F por su paciencia, dedicación,esfuerzo y por compartir sus conocimientos en este trabajo esta investigación.

Michelle Estefania Cuenca Torres

RESUMEN

El almidón es un polisacárido que ha sido extraído a partir de fuentes botánicas convencionales como de maíz, arroz, trigo, yuca, papa, camote entre otros; donde dicho rendimiento va a variar de acuerdo al índice de madurez, forma y tamaño de los gránulos de almidón que tenga la especie (planta). Además, abarca un sin número de aplicaciones desde la parte alimenticia ayudando a mejorar la consistencia y la textura en un alimento como en la producción de papel, envases biodegradables y sirviendo como aglutinante siendo tanto de consumo alimenticio como la comercialización del mismo.

Desde la óptica de la química el almidón es un hidrato de carbono, formado por cadenas de glucosa como es la amilosa que contiene una estructura lineal y un promedio del 25 % soluble en agua y la amilopectina con un 80% insoluble en el agua siendo de organización ramificada. Industrialmente la relación entre amilosa/ amilopectina son aquellas que brindan las características propias del almidón como viscosidad, solubilidad, textura y gelatinización de tal forma que se pueden modificar por dos vías: física y químicamente.

El propósito de esta investigación es la preparación de un recubrimiento comestible a base del almidón de papa china (Colocasia esculenta) en relación a otros almidones de fuentes no convencionales como raíces y tubérculos, limitando su poco interés en la industrialización del mismo en la creación de nuevos productos o derivados alimenticios contribuyendo en el sustento alimenticio del ser humano desde tiempo atrás hasta la actualidad.

Para ello se caracterizó físico-química al almidón de acuerdo a estas pruebas de ensayo: acidez titulable, pH, materia seca, humedad, cenizas, lípidos, proteína, fibra, calcio, carbohidratos totales, densidad aparente y funcionalmente como: temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento, viscosidad y microscopía óptica para determinar su composición proximal. Además, se construyó una recta de cuantificación del almidón, basándose principalmente en el complejo lugol-amilosa, siendo un buffer compuesto de 1.25 g de Yoduro de potasio, 2.5 g de yodo aforados a 250mL de agua destilada. Aquel buffer se aforó a 25 ml con almidón diluido (la cantidad de almidón depende de la muestra patrón a realizarse) en 10 mL de agua destilada.

En este estudio se valoró por medio el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI.II, con un nivel de significancia $p \leq 0,05$ partiendo de una formulación base propuesta por (Ordoñez et al, 2014) y un diseño factorial 2^3 que incluye una réplica por cada ensayo. Considerando estos tres componentes: concentración de almidón, glicerina y temperatura, siendo su variable de respuesta el espesor del recubrimiento comestible

Siendo el tratamiento 8 fue el más idóneo de acuerdo al diseño experimental, en la preparación del recubrimiento comestible, a una temperatura de 55ºC incluyendo 2% de almidón nativo de papa china, 5 % de glicerina, 0,10 % de aceite de tomillo.

Las variables resultantes de acuerdo al análisis estadístico, si influyen significativamente ($p \geq 0,05$) en el espesor del recubrimiento comestibles con porcentajes inferiores de almidón nativo de papa china (Colocasia esculenta), glicerina y temperatura de calentamiento. En tal sentido queda evidenciado que la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón de papa china Colocasia esculenta y con estos aditivos mencionados resultó ser el mejor tratamiento ($p < 0.05$) en la retención de las propiedades fisicoquímicas evaluadas, por lo cual se puede considerar como un procedimiento facultativo para prolongar la existencia útil de los alimentos, sin alterar sus particularidades sintéticas únicas y conservando una aceptabilidad organoléptica favorable.

En base a los análisis de los resultados podemos decir que este diseño de recubrimiento con almidón es viable para su implementación y generará ingresos a escala normal sino también motivar para los agricultores para la siembra y al cultivo de este tubérculo.

Palabras Claves: Almidón de papa, indicadores, recubrimiento comestible, tratamientos, aceptabilidad

ABSTRACT

Starch is a polysaccharide that has been extracted from conventional botanical sources such as corn, rice, wheat, cassava, potatoes, sweet potatoes, among others; where said yield will vary according to the maturity index, shape and size of the starch granules that the species has (plant). In addition, it covers a number of applications from the food part helping to improve the consistency and texture in a food as in the production of paper, biodegradable packaging and serving as a binder being both food consumption and the marketing of it.

From the point of view of chemistry, starch is a carbohydrate, formed by glucose chains such as amylose that contains a linear structure and an average of 25% soluble in water and amylopectin with 80% insoluble in water being of branched organization. Industrially, the relationship between amylose / amylopectin are those that provide the characteristics of starch such as viscosity, solubility, texture and gelatinization so that they can be modified in two ways: physically and chemically.

The purpose of this research is the preparation of an edible coating based on Chinese potato starch (Colocasia esculenta) in relation to other starches from unconventional sources such as roots and tubers, limiting their little interest in its industrialization in the creation of new products or food derivatives contributing to the nutritional support of the human being from time ago until today.

For this, physicochemical starch was characterized according to these test tests: titratable acidity, pH, dry matter, moisture, ash, lipids, protein, fiber, calcium, total carbohydrates, bulk density and functionally as: gelatinization temperature, Water absorption index, water solubility index, swelling power, viscosity and optical microscopy to determine its proximal composition. In addition, a quantification line of starch was constructed, based mainly on the lugol-amylose complex, with a buffer composed of 1.25 g of potassium iodide, 2.5 g of iodine graduated at 250 ml of distilled water. That buffer was added to 25 ml with diluted starch (the amount of starch depends on the standard sample to be made) in 10 mL of distilled water.

In this study, the statistical package STATGRAPHICS CENTURION XVI.II was assessed, with a level of significance $p \leq 0.05$ based on a base formulation proposed by (Ordoñez et al, 2014) and a factorial design 23 that includes a replication by Each essay Considering these three components: starch concentration, glycerin and temperature, the response variable being the thickness of the edible coating.

Being treatment 8 was the most suitable according to the experimental design, in the preparation of the edible coating, at a temperature of 55 ° C including 2% native starch of Chinese potato, 5% glycerin, 0.10% thyme oil.

The resulting variables according to the statistical analysis, if they significantly influence ($p \geq 0.05$) on the thickness of the edible coating with lower percentages of native starch of Chinese potato (Colocasia esculenta), glycerin and heating temperature. In this sense it is evidenced that the application of edible coatings based on Chinese potato starch Colocasia esculenta and with these additives mentioned proved to be the best treatment ($p < 0.05$) in the retention of the evaluated physicochemical properties, so it can be considered as an optional procedure to prolong the useful existence of food, without altering its unique synthetic peculiarities and maintaining a favorable organoleptic acceptability.

Based on the analysis of the results we can say that this starch coating design is viable for its implementation and will generate income at normal scale but also motivate for farmers for planting and cultivation of this tuber.

Keywords: Potato starch, indicators, edible coating, treatments, acceptability

ÍNDICE

RESUMEN **4**

ABSTRACT **6**

CAPÍTULO I **13**

INTRODUCCIÓN **13**

1.1. GENERALIDADES **13**

1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN **15**

1.3 OBJETIVOS **17**
OBJETIVO GENERAL 17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

1.4 HIPÓTESIS **18**
HIPÓTESIS NULA 18
HIPÓTESIS ALTERNATIVA 18
VARIABLE DEPENDIENTE 18
VARIABLE INDEPENDIENTE 18

CAPÍTULO II **19**

2. MARCO TEÓRICO **19**

2.1 PAPA CHINA **19**
2.1.1 Características botánicas 21
2.1.2 Composición Química 22

2.2 ALMIDÓN **23**
2.2.1 Amilosa 25
2.2.2 Amilopectina 25
2.2.3 Microscopía Óptica 26
2.2.4 Viscosidad 27
2.2.4 Mecanismos de Gelatinización del Almidón 28

2.3 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES **28**
2.3.1 Funciones y propiedades que presentan los recubrimientos comestibles 29
2.3.2 Métodos que se aplican en los Recubrimientos Comestibles 29
Inmersión 30
Spray 30
Casting 30
2.3.3 Componentes más empleados en la formulación de Recubrimientos Comestibles 31
Hidrocoloides 31

Polisacáridos 31
Proteínas 31
Lípidos 32
Multicomponentes 32
Otros ingredientes 32
2.3.4 Adición de los plastificantes en recubrimientos comestibles 33
2.3.5 Propiedades Físicas de los Recubrimientos Comestibles 33
Opacidad 34
Solubilidad 34
Espesor 34
2.3.6 Propiedades Funcionales en los Recubrimientos Comestibles 34
2.3.7 Propiedades Mecánicas en los Recubrimientos Comestibles 35
2.3.8 Propiedades de Barrera en los Recubrimientos Comestibles 35

CAPÍTULO III 36

3. MATERIALES Y MÉTODOS 36

3.1 Lugar de la Investigación **36**

3.2 Metodología **36**

3.3 Materiales **36**
3.3.1 Muestras y sustancias 36
3.3.2 Reactivos 36
3.3.3 Equipos 37

3.2.1 Caracterización fisicoquímica de la papa china 37
3.2.1.1 Peso 37
3.2.1.2 Diámetro del Cormo 37

3.2.2 Extracción y Rendimiento del Almidón de Papa China (Colocasia esculenta) 38

3.2.3 Análisis fisicoquímico del almidón de papa china 41
3.2.3.1 Potencial de hidrogeno (pH) 41
3.2.3.2 Solidos Solubles (º Brix) 41
3.2.3.3 Índice de madurez 41
3.2.3.4 Acidez titulable (% ácido sulfúrico) 41
3.2.3.5 Materia seca 42
3.2.3.6 Humedad 42
3.2.3.8 Lípidos 43
3.2.3.9 Proteína 43
3.2.3.10 Fibra 43
3.2.3.11 Carbohidratos totales por diferencia 43

3.2.3.12 Calcio (límite de cuantificación 0,2 mg/Kg) 44
3.2.3.13 Densidad aparente de almidón suelto 44

3.2.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china **44**
3.2.4.1 Temperatura de gelatinización 44
3.2.4.2 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH) 45
3.2.4.3 Viscosidad 45
3.2.4.4 Microscopia óptica 45

3.2.6 Preparación del Recubrimiento Comestible **46**

3.2.7.1 Espesor **47**

3.2.8 Diseño Experimental **47**

CAPÍTULO IV **54**

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **54**

4.1 Características físicas de los cormos. **54**

4.2 Rendimiento del almidón extraído de la papa china. **54**

4.3 Caracterización físico químico del almidón de papa china **55**

4.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china **58**

4.5 Microscopía óptica del almidón de papa china **61**

4.6 Determinación iónica de pureza del almidón de papa china **62**

4.7 Verificación de hipótesis **64**

CAPÍTULO V **65**

CONCLUSIONES **65**

RECOMENDACIONES **66**

BIBLIOGRAFÍA **67**

ANEXOS **72**

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Taxonomía de papa china (Colocasia esculenta Schott) 21

Cuadro 2: Composición nutricional de la papa china 22

Cuadro 3: Análisis fraccionario del contenido de hidratos de carbono en cormo de la papa china 23

Cuadro 4: Tipo de almidón, % amilosa y % amilopectina 25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formulación base del recubrimiento comestible 47

Tabla 2: Corridas experimentales de acuerdo al diseño factorial 23 en la preparación del recubrimiento comestible 48

Tabla 3: Efectos estimados para Espesor (um) 49

Tabla 4: Análisis de Varianza para Espesor 50

Tabla 5: Coeficiente de regresión para Espesor 52

Tabla 6: Optimización de Respuesta 53

Tabla 7: Características físicas del cormo de la papa china 54

Tabla 8: Rendimiento de almidón de papa china 55

Tabla 9: Análisis fisicoquímico del almidón de papa china 56

Tabla 10: Análisis de las propiedades funcionales del almidón de papa china 59

Tabla 11: Capacidad de retención de agua (CRA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH) del almidón de papa china 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta y tubérculo de papa china 19

Figura 2: Estructuras de la amilosa y amilopectina 24

Figura 3: Forma y color de papa china 38

Figura 4: Diagrama de flujo para extracción de almidón de Papa China (Colocasia esculenta) 40

Figura 5: Diagrama de flujo para la preparación del recubrimiento comestible a base de almidón de Papa China (Colocasia esculenta) 46

Figura 6: Diagrama de Pareto Estandarizada para espesor 49

Figura 7: Efectos principales para Espesor 51

Figura 8: Interacción para espesor 52

Figura 9: Superficie de respuesta estimada 53

Figura 10: Contornos de la superficie de respuesta estimada 53

Figura 11: Microscopia óptica del almidón de papa china teñido con lugol 61

Figura 12: Microscopia óptica del almidón de papa china 62

Figura 13: Representación gráfica soluciones patrón Corriente vs tiempo, donde a mayor concentración mayor es la corriente (mA) en el equipo 63

Figura 14: Regresión lineal para cuantificación de almidón de papa china 63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Extracción del almidón de papa china (Colocasia esculenta) 72

Anexo 2: Análisis fisicoquímicas y funcionales del almidón 74

Anexo 3: Recubrimiento comestible a base de almidón, glicerina y aceite de tomillo 75

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Ecuador procesa mensualmente un alrededor de 4493 toneladas de PET (polietileno tereftalato), para fabricar recipientes plásticos desechables de productos que resultan de consumo masivo con un 10 % de desperdicios y un 90% son reciclados de manera errónea incrementado con los años en el año 2012 se ha consumido 42.005,46 toneladas, en el periodo de 5 años se ha producido un aumento del 37.84 (Crespo y Rivera, 2018).

Los envases no biodegradables poseen una gran demanda en el mercado que son aplicados en diferentes maneras de adquisición o consumo dando como resultado la emisión de gases tóxicos y daños irreversibles al medio ambiente por ser de fuentes no renovables requiriendo más tiempo para su descomposición (Charro, 2015). Por lo tanto, muchas investigaciones están optando por el cambio de recurrir a partir de fuentes naturales renovables u orgánicas como la extracción y utilización de tubérculos, semillas y raíces de materias primas locales para la fabricación de recubrimientos comestibles que tenga un proceso de degradación mucho más rápido sin provocar consecuencias irreversibles (Oropeza, Montes y Padrón, 2016).

Según (Espinosa, 2012) indica que el Ecuador cuenta con una gran biodiversidad de tierras que son aptas para todo tipo de cultivo sin embargo, dentro de esta diversidad encontramos productos altamente nutricionales que no son conocidos como es el caso de papa china, gracias a investigaciones realizadas se ha comprobado que este tubérculo posee mayor cantidad de nutrientes a diferencia de otros cultivos (Zúñiga, 2019).

En varias zonas tropicales del país se siguen desarrollando cosechas de papa china (Colocasia esculenta) en las Provincias de los Ríos, El Oro, Pastaza, Morona Santiago, Santo Domingo de los Tsáchilas, ya que en el año de 1995 se descubrieron las primeras cosechas en

la zona de Santo Domingo de los Colorados (Zúñiga, 2019), sin embargo estos tubérculos se adaptan a condiciones propias para su crecimiento y desarrollo del mismo desde la riqueza nutritiva que conservan sus suelos como la ubicación geográfica manifestando cosechas aprovechables en todo el año (Rodríguez, 2017).

Este tipo de almidón se característica principalmente por poseer gran cantidad de hidratos de carbono, sales minerales y vitaminas siendo un tubérculo poco apreciable por el resto de la población siendo la mayor parte consumida y destinada al exterior por los propios agricultores (Arguedas y Burga, 2008). Existe muy poco apoyo e interés científico y tecnológico del mismo por parte de las empresas que se quieran dedicar a la industrialización de almidones, como en la elaboración de productos alimenticios o derivados provenientes de diferentes fuentes no convencionales (raíces y tubérculos), porque genera desventajas financieras al exportar la materia prima como al importar productos con altos precios (Zúñiga, 2019).

La industria alimentaria está utilizando algunos polisacáridos procedentes de celulosa, almidón, quitosano, pectina para la fabricación de recubrimientos comestibles que sean de fuentes botánicas y fácil procesamiento como es el diseño de los recubrimientos comestibles, se identifican por ser una matriz continua delgada, transparente y de grado comestible que se adhiere al alimento sumergiéndose en la solución formadora del mismo actuando como una defensa contra el oxígeno y el vapor de agua con el propósito de conservar la calidad del alimento alargando su vida útil y servir de empaque (Fernández et al, 2015).

1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

¿La escasa tecnología en la obtención de recubrimientos comestibles y biodegradables a partir de almidón de papa china (Colocasia esculenta), limita la transformación y creación de nuevos productos con materias primas locales?

Una gran parte de los subproductos de origen vegetal y animal son fuentes de diferentes compuestos valiosos, como polisacáridos o proteínas, que son materiales útiles para desarrollar recubrimientos comestibles o biodegradables y formulaciones de película. Hoy en día, Esto ha adquirido gran importancia en el desarrollo de nuevos materiales para sustituir, al menos parcialmente, los plásticos tradicionales de envasado de alimentos, que muestran deficiencias en cuanto a su impacto ambiental. Esto también implica el uso de recursos renovables en lugar de las reservas limitadas de petróleo (Chiralt et al, 2020).

Nuestro país, sobre todo en la Provincia de El Oro se ha encontrado cosechas de este tubérculo sobresaliendo con un continuo crecimiento que muchos desconocían de acuerdo a la información estadística que proporciona el MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca), desde el año 2002 hasta el 2012 con un incremento anual de 20%. En el 2002 se obtuvo 5.000 hectáreas de papa china con una producción de 15.750 toneladas, en el 2006 se duplicó con una cantidad de 10.120 hectáreas con una producción de 55.037 toneladas, ya para el 2012 se obtuvieron hasta 24.644 hectáreas con una producción de 14.702 toneladas (Rodriguez, 2017).

Es muy notable el poco interés que se le ha otorgado a la papa china desde su consumo, producción y comercialización, por motivo que las personas no cuentan con los recursos necesarios tanto económicos como tecnológicos. Dando como efecto a la exportación de este tubérculo al mercado internacional con un 80% y un 20% en el mercado local, siendo consumido en pequeñas cantidades por la población (Rodriguez, 2017).

En la industria alimentaria existe una gran demanda de alimentos seguros e inocuos que tengan un pequeño impacto ambiental, por tanto se plantea aprovechar las materias primas locales que se encuentran en la zona 7 dándoles un valor agregado en la elaboración de recubrimientos comestibles, con el propósito de impulsar su consumo para gozar de sus

propiedades nutricionales como vitaminas, minerales, carbohidratos, hierro, potasio, magnesio (Rodriguez, 2017) por medio de la fabricación y comercialización de productos semielaborados de calidad a un costo accesible (Perez, 2017).

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Preparar un recubrimiento comestible a base del almidón de papa china (Colocasia esculenta) para aplicaciones alimenticias.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener almidón nativo a partir de papa china *(Colocasia esculenta)*, a través del método húmedo.
- Determinar la composición proximal del almidón de papa china (Colocasia esculenta Schott) a partir de la caracterización fisicoquímica y funcional.
- Elaborar un recubrimiento comestible a partir de almidón de papa china, glicerina, y aceite de tomillo empleando diferentes temperaturas.

1.4 HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA

H01: Porcentajes inferiores de almidón nativo de papa china (Colocasia esculenta), glicerina y temperatura de calentamiento no influyen significativamente ($p \geq 0,05$) en el espesor del recubrimiento comestible.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA

H1: Porcentajes inferiores de almidón nativo de papa china (Colocasia esculenta), glicerina y temperatura de calentamiento influyen significativamente ($p \geq 0,05$) en el espesor del recubrimiento comestible.

1.5 VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE

Recubrimiento comestible

- Espesor

VARIABLE INDEPENDIENTE

- Concentración de Almidón
- Concentración de glicerina
- Temperatura

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PAPA CHINA

Malanga o taro (Colocasia esculenta L. Schott) es un vegetal comestible con alto contenido de almidón en su raíz y alto valor nutricional que es cultivado en zonas tropicales del mundo (Grimaldi et al., 2018). Es consumido como harina, pasta y en productos enlatados, barras de cereal, bebidas en polvo y papas fritas (Arano et al, 2019).

La papa china (Colocasia esculenta), fue considerada como un cultivo promisorio con una extensa diversidad de aplicaciones principalmente en el campo alimenticio. Al no incluir gluten, puede ser consumida fuera de problemas, por personas que tienen la patología conocida como celiaquía o intolerancia al gluten, la transforma en un sustento muy interesante para la canasta familiar, el contenido elevado de materia seca fluctúa entre 30-40 % y hasta un 1 % de proteínas y 0,8 – 1 % de fibras naturales la cual es de suma consideración en la dieta día tras día, puesto que ayuda a la limpieza del tracto digestivo y lo distingue de la mayor parte de los alimentos de origen vegetal (Trujillo, 2015).

Figura 1. Planta y tubérculo de papa china

Fuente: (Jaurapoma, 2014)

Existe información orgánica, la Papa China se posiciona en uno de los mejores puestos en todo el mundo que engloba los cultivos de tubérculos, en la región amazónica ecuatoriana

principalmente es usado de manera orgánica, donde muestra una estupenda opción para resolver un conjunto de problemas alimentarios de la zona; también las alternativas de su beneficio en la nutrición de los seres humanos, según sus atrayentes propiedades digestivas permite su aprovechamiento (Lozada, 2005).

Taro, Colocasia esculenta (L.) Schott, es un cultivo subexplotado, cultivado en todo el trópico, especialmente en las regiones más cálidas por sus cormeles, hojas y pecíolos comestibles. Es un elemento básico en muchos países del Pacífico, el Caribe y Asia y un suplemento para papas en el sur de los Estados Unidos (Misra et al., 2005). A nivel mundial, los cocoyams (que comprenden taro y tannia) se cultivan en un área de 1.30 m ha con una producción de 9.98 m t y el promedio la productividad es de 7.68 t ha − 1 (www.faostat.fao.org) (Suja et al, 2017).

Dentro del Ecuador el cultivo de malanga y papa china se presentaron por primera oportunidad de una forma comercial dentro de la región de Santo Domingo de los Colorados en 1995, continuamente de Los Ríos (Quevedo, Chone), Esmeraldas, Pastaza, Morona Santiago y Napo (Caicedo, 2018).

Se considera en Ecuador con el nombre habitual de ambos frutos más destacables aráceas: Colocasia esculenta y Xanthosoma sagittifolium, alrededor del 80% de los productores a nivel nacional se agrupan en pequeñas y medianas producciones. Generando un promedio obtenido entre los productores pequeños de 1-4 hectáreas y de 10-20 hectáreas entre los medianos; por otro lado asimismo hay propiedades que superan las 200 hectáreas, se cree una área total de 2500 hectáreas dispersas en todo el territorio con diferentes características (Lozada, 2005).

La siembra de este fruto de raíz es provechoso desde el criterio monetario y mercantil, debido a un exceso de demanda conforme a los mercados de: Unión Europea, Estados Unidos y América Central etc. (Romero, 2018).

Cuadro 1: Taxonomía de papa china (Colocasia esculenta Schott)

Reino	**Plantae**
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Arácea
Subfamilia	Aroideae
Género	Colocasia
Especie	Colocasia esculenta
Nombre binomial	Colocasia esculenta (L.) Schott
Fuente: (Morales, 2012)	

2.1.1 Características botánicas

Colocasia esculenta es una planta herbácea perenne, diferenciada por su rizoma tuberoso, que forma un cormo de aspecto escamoso e espesor variable, que nacen en rosetas, el desenlace de largos peciolos (Hao, 2006), las hojas son peltadas con apariencia de flecha, el peciolo de la hoja adjunta a numerosas pulgadas de la base "V" de la hoja (Romero, 2018).

Según los autores Onwueme, (1978) y Montaldo (1991) determinan una característica del taro con su elevado contenido de humedad, debido a que necesita altas precipitaciones y bien distribuidas para conseguir un rendimiento superior. En el tiempo de lluvia disminuye el avance del cormo se reduce. En relación a la temperatura el cultivo de este fruto se da en climas cálidos con un resultado diario a 21ºC recalcando que no puede realizarse en condiciones de bajas temperaturas en relación al pH escoge un terreno sutilmente ácido de 5.5-6.5 permitiendo mejorar los suelos salinos que otros terrenos (Lozada, 2005).

Las cosechas cambian de acuerdo al tiempo; en relación al tipo de suelo y abono dándose antes de tiempo sin que haya alcanzado su máximo crecimiento, limitando un mayor aprovechamiento (Acuña, 2012). El tiempo de recolección de estos tubérculos es aproximadamente entre 9 a 12 meses después de la cosecha, siendo muy notorio el cambio

de color que se producirán en sus hojas (amarillento). Los cormelos deben ser almacenados a una temperatura de 7ºC (45ºC) y una humedad relativa de 70 a 80% para que puedan tener una vida útil de tres meses (Romero, 2018).

2.1.2 Composición Química

Sus componentes nutricionales hacen que este material sea muy atractivo para mejorar el valor nutricional de los alimentos (Kaushal, Kumar y Sharma, 2015). Las Colocasia spp. Se ha declarado como una fuente de proteínas (11–16%), fibra cruda (5–9%) y potasio (2271–4276.06 mg / 100 g), pero también otros minerales como hierro, calcio, sodio, magnesio, fósforo, zinc y cobre (Arıcı, Yıldırım, Özülkü, Yaşar y Toker, 2016). (Calle, Benavent y Rosell, 2020)

Cuadro 2. Composición nutricional de la papa china

COMPOSICIÓN	UNIDAD	CRUDO	COCINADO
Humedad	g	71,9	72
Proteína	g	1,7	1
Grasa	g	0,8	0,2
Carbohidratos	g	23,8	25,7
Fibra	g	0,6	0,4
Cenizas	g	1,2	0,7
Ca	g	22	26
P	g	72	32
Fe	mg-meg	0,9	0,6
Tiamina	Mg	0,12	0,08
Riboflavina	Mg	0,02	0,01
Niacina	Mg	0,6	0,4
Ácido Ascórbico	Mg	6	
Fuente: (Trujillo, 2015)			

El principal alimento almacenado en la papa china son los carbohidratos, cuya fracción está compuesta como la muestra en el cuadro 3:

Cuadro 3. Análisis fraccionario del contenido de hidratos de carbono en cormo de la papa china.

Componente	**%**
Almidón	77,9
Pentosa	2,6
Proteína cruda	1,4
Dextrina	0,5
Azúcares reductores	0,5
Sacarosa	0,1
Fuente: (Trujillo, 2015)	

Taro corm representa un gran tallo subterráneo que almacena almidón y otros nutrientes. Los cormos pueden variar en tamaño, forma y color, dependiendo de la estructura genética, edad e interacciones entre el genotipo y el medio ambiente (Mergedus et al, 2015).

El almidón de la papa china radica de 17-28 % de amilosa, el sobrante es de amilopectina. Asimismo posee un alto contenido de almidón, el taro dispone un volumen prominente de proteína y aminoácidos a diferencia de otros tubérculos tropicales. El corno de taro contiene proteína alrededor del 7 % en una base de peso seco, a diferencia de ñames, yuca, o patata dulce es más alto. La proteína contiene la mayor parte de los aminoácidos esenciales, sin embargo no posee mucha histidina, lisina, isoleucina, triptófano y metionina (Trujillo, 2015).

2.2 ALMIDÓN

El almidón es la principal fuente de carbohidratos en la nutrición humana. y clasificado como almidón de digestión rápida (RDS), de digestión lenta almidón (SDS) y almidón resistente (RS), de acuerdo con la tasa y grado de digestión (Englyst, Kingman y Cummings, 1992). Rápidamente almidón digestible es la fracción de almidón que causa un aumento en nivel de

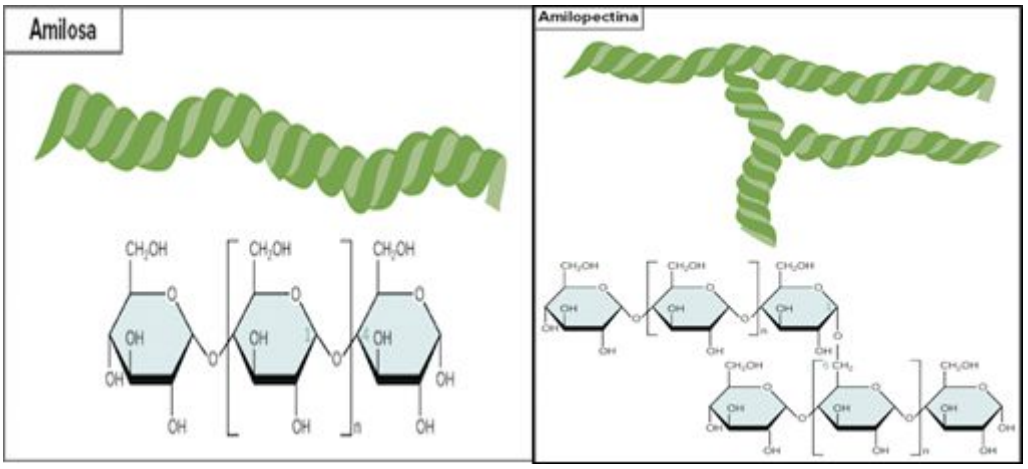
glucosa en sangre después de la ingestión inmediatamente, mientras que SDS es la fracción de almidón que se digiere completamente en el intestino delgado en una tasa más baja en comparación con RDS. El almidón resistente es la porción de almidón y / o productos de hidrólisis de almidón que escapan a la digestión en el intestino delgado, y entra al colon para la fermentación (Sajilata, Singhal y Kulkarni, 2006) (Nehirm y Simsek, 2012).

El almidón está compuesto de gránulos en los cloroplastos de las hojas verdes y en los amiloplastos, estos últimos son los encargados de almacenar en las semillas y tubérculos. Las fuentes de almidón más abundantes son los granos de cereal (40-90% de su peso seco), leguminosas (30-50% de su peso seco), tubérculos (65-85%) de su peso seco) y frutas inmaduras o verdes (40-70% de su peso seco) (Gonzalez, Olguin, Loayza y Severich, 2014). La concentración de almidón cambia de acuerdo al grado de maduración de la fuente, conformado principalmente por hidratos de carbono, la estructura de los gránulos de almidón son distintivos para cada grupo botánica (Songor, 2019).

La reserva más importante de hidratos de carbono que tienen las plantas superiores es el almidón. En su estado original, el almidón es insoluble en agua fría, sus gránulos son parcialmente cristalinos cuya morfología, composición química, y estructura supramolecular son únicos de cada especie en particular. Existe una variación de tamaño de estos gránulos, sobre todo entre las diferentes fuentes (entre 0,5 y 100 μm). Las partículas tienen diferente tamaño y distribución de las propiedades que fundamentalmente contribuyen en los gránulos de almidón. Se ha encontrado que lo gránulos de almidón de menor tamaño tienen un mayor poder de hinchamiento, menor solubilidad, mayor capacidad de retención de agua, y más baja susceptibilidad a la alfa-amilasa (Gonzalez, Olguin, Loayza y Severich, 2014)

Principalmente el almidón se encuentra conformado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Estos gránulos además incluyen trazas de otros componentes como lípidos polares, nitrógeno y fósforo, con estructura de fosfolípidos, en muchos casos, intervienen una función primordial en las características funcionales del almidón. La conexión de amilosa/amilopectina y su composición física en el interior de la estructura granular, brindando a los almidones propiedades fisicoquímicas y funcionales características (Lopez, 2012).

Figura 2. Estructuras de la amilosa y amilopectina



Fuente:https://es.khanacademy.org/signup

2.2.1 Amilosa

Está conformado por un polímero lineal con moléculas de glucosa enlazadas por glucosídicos α-D-(1,4), dependiendo del tipo de almidón cambian los números de unidades, en la mayoría de los casos son 1000 unidades de glucosa por molécula de amilosa que contiene una forma de espiral. La formación de películas fuertes se da en soluciones diluidas con una estructura lineal del polímero, la retrogradación es cuando se relaciona la unión intermolecular a través de moléculas de amilosa (Songor, 2019).

2.2.2 Amilopectina

Está formado por un polímero ramificado en un 94-96% de unidades de glucosa por enlaces α (1-4) y 4-6% con uniones α (1-6). Estas ramificaciones están alrededor de cada 15-25 unidades de glucosa. En presencia de yodo la amilopectina es soluble en agua caliente produciendo un color rojizo violeta (Hernández, Torruco, Guerrero y Betancur, 2008).

Tanto la amilosa como la amilopectina contribuyen radicalmente en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, fundamentalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En algunos casos, cuando una de las fracciones está en abundancia, puede ocasionar algunos problemas (Songor, 2019).

Cuadro 4. Tipo de almidón, % amilosa y % amilopectina

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)
Yuca	82	18
Maíz	73	23
Papa	78	22
Papa china	75	25
Fuente: (Songor, 2019).		

Las cualidades más relevantes a tener cuenta a fin de establecer el aprovechamiento del almidón con respecto a la preparación de alimentos y diferentes aplicaciones industriales incorporan las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; comportamiento reológico de sus pastas y geles las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis (Hernández, Torruco, Guerrero y Betancur, 2008).

2.2.3 Microscopía Óptica

El almidón es sintetizado en modo de gránulos de tamaño y forma que dependen de la fuente botánica, dentro de organelos celulares llamados amiloplastos en diferentes partes de las plantas. Es popular que las variantes en gránulos, como el tamaño (1-100 μm de diámetro), forma (esférico, lenticular, poligonal), organización (uni o bi-modal), si están forma individual (simple) o asociados (compuesto), y la estructura (α- glucanos, lípidos, humedad, proteína y minerales) reflejan el origen botánico. Además de que tienen la posibilidad de cambiar bastante con respecto al contenido, la composición y la organización de las moléculas de amilosa y amilopectina, de esta forma como el nivel de cristalinidad (Quiñonez, 2013).

Dependiendo del gránulo y el tamaño de almidón son decisivos para determinar, si perjudica el poder de hinchamiento granular (posibilitando liberar las cadenas poliméricas solubles a fin de una formación única etapa amorfa coherente) y la solubilidad (en medio plastificante). La materia soluble y el poder de hinchamiento granular empieza a liberar en el hilum del gránulo de almidón y de esta manera rápida es prolongada la periferia (Medina y Salas, 2008).

En la célula se constituyen en partículas discretas (gránulos), cuyo tamaño se puede alterar entre de 1 a 100μm; un gránulo de almidón aporta cantidades variables de amilosa y amilopectina (Quiñonez, 2013).

El área superficial expuesta corresponde al diámetro del gránulo, con la finalidad de que se produzcan los distintos procesamientos, ejemplo de esto es la transferencia de calor, al tener menos área es menor tiempo de cocción y mayor transferencia. Con relación a la forma, es diferente en toda variedad, por lo que se necesita de un análisis microscópico (Ríos, 2014).

(Lamadrid et al, 2009) reportaron que mientras menor sea la dimensión del gránulo de almidón la velocidad de hidrólisis aumenta, debido a que aporta con una superficie mayor para el ataque enzimático, por lo que habría la posibilidad de implementar estos almidones como sustratos para la producción de compuestos variables de carácter industrial, entre ellos, las dextrinas, ciclodextrinas, fructosas, entre otros. Además, un tamaño pequeño de gránulo aporta de forma efectiva en la digestibilidad y biodisponibilidad del mismo, siendo óptimo para la formulación de alimentos para niños y personas en convalecencia (Ríos, 2014).

2.2.4 Viscosidad

Luego de que los gránulos se hinchan lo suficiente la viscosidad aumenta debido a que estos chocan de manera continua, el tamaño de los gránulos de viscosidad están implicados en diferentes alteraciones, el efecto de algunos componentes del gránulo y las fuerzas internas que sostienen las moléculas adheridas dentro del gránulo. El margen de gelificación supera la temperatura de las suspensión del almidón. Si existe la cantidad agua necesaria los gránulos permanecen aumentando su tamaño. En diferentes situaciones la fricción es tan grande que se rompe los gránulos más frágiles que causan la disminución de la viscosidad (Obregón y Estrella, 2014).

La viscosidad de un gel del almidón formado de manera indirecta se calienta con una temperatura y velocidad recurrente, con una medición y fuerza de torsión sobre una aguja rotante. Según Rao (2007), la viscosidad de dispersiones acuosas que almacenan almidón es primordialmente afectada por la concentración del mismo y otros factores como la presencia de elementos solubles (hidrocoloides, proteínas, solutos) o insolubles (lípidos) y el esfuerzo de cizalla. El conocimiento de las características reológicas en dispersiones formadoras de

películas por pruebas dinámicas y estacionarias, es fundamental para el diseño y procesamiento de películas. Algunos estudios mencionan que una viscosidad baja se consigue mediante la presencia de una concentración de macromoléculas baja. Una viscosidad cercana a 0.7 Pas a una velocidad de rotación de 6.28 rads en una DFP es la óptima para evitar sedimentación de partículas sólidas dispersas. Sobre todo, el objetivo de ajustar la viscosidad de una solución es el de poder controlar su espesor y llevar a cabo que la solución adhiera a la superficie (Mendoza, 2012).

2.2.4 Mecanismos de Gelatinización del Almidón

Debido a su composición el almidón no es soluble en agua fría, ya que, al juntarse en una suspensión acuosa, los gránulos absorben agua reaccionando en un hinchamiento leve y regresan a su tamaño original al deshidratarse. La gelatinización del almidón es un desarrollo mezclado que radica en la hidratación de una zona amorfa y una fusión subsecuente de las matrices transparentes. La transición de fase de un estado ordenado a uno desordenado se define con relación al proceso de los gránulos de almidón en la gelatinización, esto se da cuando hay abundante agua y se emplea calor en los gránulos de almidón.Producen alteraciones en el sistema gelatinizado con respecto a transformarse en una estructura de gel y reorganización de las moléculas de almidón (Buensuceso, 2010).

Al llegar a una temperatura determinada el grano se rompe, es por ello que esto es un desarrollo irreversible. En relación el tipo de almidón se tiene distinto punto de gelatinización que va desde temperaturas entre 80 a 85°C para el trigo, 70 a 72°C para el maíz y de 60ª 65°C para la yuca (Buensuceso, 2010).

La intensidad de la gelatinización depende de la fuente botánica de la que se obtiene el almidón, de la cantidad de humedad de la muestra y de ciertas condiciones de laboratorio tales como pH, presencia de sólidos, etc (López, 2012).

2.3 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Entre los biopolímeros, el almidón se destaca como el más ampliamente empleado en la elaboración de películas y recubrimientos, por su bajo costo y disponibilidad. Varios estudios

han informado sobre el uso de almidón de diferentes fuentes en la preparación de películas y recubrimientos con diferentes propiedades (Pelissari et al, 2019).

Desde principios hasta mediados del siglo XX, se han empleado recubrimientos para rescatar la pérdida de agua e imparte brillo a frutas y verduras (Pavlath, 2009). Los derivados de celulosa, almidones, gomas, quitosano / quitina, lípidos y proteínas de origen vegetal o animal ofrecen la posibilidad de fabricar películas comestibles. Para alargar la vida útil de los envases de alimentos frescos o procesados (J., 2019). Sin embargo, la última década fue testigo una de las tendencias más ingeniosas en el uso de biopolímeros con la conversión de desperdicios de alimentos (Dubey, 2020).

Ambos comestibles la película y los recubrimientos son similares en composición, pero la diferencia básica entre ellos es que el recubrimiento comestible permanece adherido a la superficie del producto, mientras que la película comestible no se adhiere al producto sino que cumple con la utilidad de envoltura o empaque. Se han aplicado películas y recubrimientos comestibles en carnes, aves, mariscos, frutas, verduras, granos, dulces, heterogéneos y alimentos complejos, o alimentos frescos, curados, congelados y procesados. Un recubrimiento ideal se define como uno que puede extender la vida de almacenamiento de productos frescos, frutas o verduras sin causar anaerobiosis y reduce la descomposición sin afectar la calidad de las frutas recubiertas o vegetales (Ghaouth et al., 1992). Cuando el recubrimiento o película comestible contiene algún material funcional o activo (antioxidante, antimicrobiano o nutrientes, etc.), se denomina recubrimiento o película comestible funcional, lo que parece tener un enorme valor (Sanjib, 2019).

Según Kester y Fennema (1986) los recubrimientos y/o películas comestibles posee la función de realizar la migración de humedad, controlar el acceso de gases (O2, CO2 y etileno), mantener los componentes volátiles, servir de transporte de aditivos, optimizar las características mecánicas y el uso de alimento, asimismo de repartir una superior composición (Mendoza, 2012).

El RC sobre la superficie del alimento es una matriz fina y continua, aplicando la técnica de spray de la solución filmogénica expresada. Por tanto, el grosor de la película comestible es

mayor al recubrimiento comestible, después de ser producidas son empleadas sobre la superficie o como separador de los diferentes elementos de un alimento (Parzanese, 2009).

Uno de las diferencias entre las películas comestibles y los recubrimientos es que los recubrimientos son generalmente usados para aderezar alimentos, mientras que las películas son estructuras independientes que puede aplicarse a los alimentos o entre diferentes partes de los sistemas alimentarios (Kenawi y Abdel-Salam, 2011; Dehghani et al., 2018). La oxidación es la causa principal del deterioro de los alimentos para muchos productos y puede afectar negativamente las cualidades organolépticas (sabor, color, etc.) (Sahraee et al, 2019).

2.3.1 Funciones y propiedades que presentan los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos y películas tienen que presentar algunos requerimientos funcionales que dejen observar o reducir los factores de variación de los alimentos a contemplar, algunas de estas ventajas y características (Fernandez et al, 2015):

- Estar suelto de sustancias tóxicas y seguros para la salud.
- Deben utilizar una técnica fácil para su producción.
- Mostrar propiedades mecánicas necesarias para evitar daño por rotura del material.
- Poseer propiedades sensoriales, nutricionales y organolépticas que estén acorde por medio del alimento a cubrir.
- Preservar la textura y desarrollan propiedades mecánicas.
- Controlar el desarrollo de microorganismo para alargar la vida útil de un alimento.
- Muestran propiedades de obstáculo como transferencia de distintas sustancias, adecuada permeabilidad al vapor de agua, volátiles y solutos en una permeabilidad selectiva a gases, desde el alimento hacia el exterior y viceversa.

2.3.2 Métodos que se aplican en los Recubrimientos Comestibles

Actualmente se han elaborado varios sistemas para la adecuada implementación de matrices comestibles en relación con los alimentos. Conforme se nombró anteriormente los recubrimientos comestibles se distinguen de las películas comestibles por la manera en la cual son aplicados. Los procedimientos de Inmersión o Spray se emplean para recubrimientos comestibles y el Casting para películas comestibles (Parzanese, 2009).

- **Inmersión**

Radica en la utilización de las matrices comestibles introduciendo el alimento en la solución filmogénica formulada. Se usa principalmente en algunos alimentos donde su estructura es irregular debido a que necesitan de una cobertura uniforme y gruesa. Debe ser indispensable que el producto haya sido lavado y secado previamente, cuando es separado la solución se dejó drenar el exceso de solución a fin de conseguir un recubrimiento homogéneo (Parzanese, 2009).

- **Spray**

Este método se fundamenta en la utilización de la solución filmogénica presurizada. Facilita conseguir recubrimiento comestible más finos y uniformes. Es empleado en alimentos de superficie uniforme para la división de elementos de diferente humedad de un alimento compuesto, por ejemplo, en platos preparados como pizzas u otros (Parzanese, 2009).

- **Casting**

Por medio de este procedimiento se adquieren películas o films premoldeados. Radica fundamentalmente en la extracción de una separación uniforme compuesta por biomoléculas (proteínas, polisacáridos, lípidos), plastificante y agua. Después se debe trasvasar sobre una placa de material inocuo (acero inoxidable) en la cual se seca con la finalidad de que se produzca el film o película. La eficacia de secado a la par con la temperatura y humedad son circunstancias fundamentales para la calidad del film (transparencia, consistencia, propiedades mecánicas), es por esto, tienen que ser controladas adecuadamente (Parzanese, 2009).

Los recubrimientos comestibles tienen la probabilidad de elaborar desde una larga variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en composiciones que logren conseguir rendimiento, los beneficios de cada grupo, estas formulaciones tienen la posibilidad de integrar, en conjunto plastificantes y emulsificantes que se utilizan de diversa naturaleza química con el propósito de ayudar a llevar a cabo mejor las propiedades finales de la película o recubrimiento (Arevalo, Azucena y Lainez, 2018).

2.3.3 Componentes más empleados en la formulación de Recubrimientos Comestibles

Se podrían emplear numerosos compuestos en la formulación de envases comestibles para fortalecer las propiedades físicas de los productos alimenticios (Sharma y Ghoshal, 2018). La decisión sobre el uso específico del compuesto responderá principalmente a la aplicación de destino. Componentes que sintetizan las películas comestibles se clasifica principalmente en cuatro categorías. Estos son polisacáridos, proteínas, lípidos y composición. Existen numerosos artículos científicos centrados en envases comestibles; sin embargo, últimos 5 años ha sido testigo de un gran cambio en los métodos de fabricación, funcionalidades y propiedades de las películas comestibles y recubrimientos (Dubey, 2020).

- **Hidrocoloides**

Las películas o recubrimientos hidrocoloides son formulaciones que contienen aplicaciones en casos que se comprueba la migración del vapor de agua no es el propósito, debido a que estas son óptimas así como barrera para la difusión del O2, CO2 y lípidos. La mayor parte de estas películas también poseen características mecánicas y estructurales deseables que realizan para optimizar la integridad estructural de productos frágiles (Arevalo, Azucena y Lainez , 2018).

- **Polisacáridos**

Las cadenas poliméricas de estos compuestos tienen superiores pesos moleculares en algunas casos una cantidad primordial de grupos hidroxilo que interviene, sobre la constitución de la película a distintas condiciones de acidez, los polisacáridos que se encuentran en el almidón y sus derivados de celulosa, alginatos, carragenanos, quitosano y pectina fundamentalmente (León, 2018). Los almidones también pueden ser utilizado en su estado original o modificada. Esta modificación contribuye a mejorar alguna de las características (mecánicas o de barrera) de los recubrimientos y/o películas (Mendoza, 2012).

Los recubrimientos compuestos de polisacáridos generalmente presentan buen oxígeno, propiedades de barrera, particularmente en condiciones de baja humedad (Cuq,Gontard y Guilbert, 1995). Los buenos resultados han sido presentados por Baloch y col. (1986) y

Zhao y Chang (1995), quienes evaluaron el efecto de aplicar una solución de almidón a los cubos de zanahoria antes del aire caliente el secado (Vanzela et al, 2013).

- **Proteínas**

Las proteínas según la caseína, gelatina, proteína de soya, zeína, albúmina de huevo, son adecuadas para transformar las películas permitiendo unirse a las superficies hidrofílicas, sin embargo en el mayor de los casos no soportan la difusión al vapor de agua. Los recubrimientos a partir de proteínas para productos vegetales no pueden obtener bastante logro. Sin embargo, el avance de cubiertas compuestas en las que combinan las proteínas con materiales hidrofóbicos dan suficientes oportunidades para esta finalidad (Arevalo, Azucena y Lainez, 2018).

De acuerdo a Sothornvit y Krochta (2000), cuando las películas proteicas se ven expuestas a temperaturas elevadas se contrarresta la fuerza de cohesión, debido a ello las moléculas son inmovilizadas, lo cual produce defectos en el recubrimiento, como fracturas y perforaciones en la superficie de los mismos.

- **Lípidos**

De manera adversa a los hidrocoloides, los lípidos se pueden identificar por ser hidrofóbicos y no poliméricos, los cuales presentan propiedades de alto rendimiento como barreras frente a la humedad. Dentro del grupo de lípidos aplicados a recubrimientos y films comestibles se tiene la posibilidad de nombrar las ceras, resinas, ácidos grasos, monoglicéridos y diglicéridos. La opción no favorable de estas sustancias es su mínima condición para hacer films, es decir no tienen bastante integridad estructural ni durabilidad. Sin embargo, se los emplea fundamentalmente como protección de frutas, usando una capa lipídica externa como complemento a la cera natural que adquieren los frutos, la cual es normalmente retirada mientras son lavadas. Además, se utilizan como barrera entre los diferentes compuestos de un alimento heterogéneo, como apoyo de aditivos liposolubles y para dar brillo a productos de confitería (Parzanese, 2009).

- **Multicomponentes**

Con el objetivo de utilizar los beneficios de los diferentes elementos, las formulaciones se producen combinando los materiales nombrados antes en diferentes proporciones. En estas cubiertas compuestas, la utilización de 2 o más componentes mezclados posibilitan optimizar las características de intercambio gaseoso, adherencia y permeabilidad al vapor de agua (Morales Reyes, 2011). Este tipo de recubrimientos contiene capacidad para ser utilizados en productos vegetales enteros o mínimamente procesados (Arevalo, Azucena y Lainez, 2018).

- **Otros ingredientes**

Algunos componentes se agregan, en pequeñas proporciones, a las formulaciones de los recubrimientos para cambiar características cómo: mecánicas, a estas composiciones se les clasifica como plastificantes o emulsificantes (Morales Reyes, 2011); distintos tipos de componentes son usados con la finalidad de dotar las propiedades antimicrobianas a los recubrimientos (Arevalo, Azucena y Lainez, 2018).

2.3.4 Adición de los plastificantes en recubrimientos comestibles

Se usan para llevar a cabo hacer mejorar la flexibilidad y la aplicación de los recubrimientos, son moléculas pequeñas de baja volatilidad y de bajo peso molecular con una naturaleza química semejante a la del polímero formador de recubrimiento (Miramont, 2012).

Según McHugh y Krochta (1994) detallan los plastificantes como sustancia equilibradas, con alto punto de ebullición no volátiles, modifican sus características físicas y mecánicas que son implementadas a otro material. Entre los agentes plastificantes empleados usualmente se hallan: polietilenglicol, glicerol, sorbitol, ácidos grasos,aceites y ceras, el más usado posiblemente es el glicerol(Mendoza, 2012).

Por lo general, se han utilizado para incrementar la flexibilidad de los recubrimientos se utilizan en las formulaciones el plastificante como el glicerol. Así, se incrementa a movilidad molecular de los polímeros y el volumen libre, disminuyendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y creciendo el espacio intermolecular. Se estima que los grupos polares (-OH), entre el polímero y el plastificante las cadenas forman puente de

hidrógeno, reemplazando de esta forma las interacciones polímero-polímero(Mendoza , 2012). Los plastificantes influyen la capacidad de atracción de agua del sistema y principalmente logra incrementar la permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos comestibles (Miramont, 2012).

2.3.5 Propiedades Físicas de los Recubrimientos Comestibles

Las propiedades físicas más indispensables para los recubrimientos comestibles Se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas similares con la resistencia mecánica.

- **Opacidad**

La transparencia u opacidad y la luz, están entre las propiedades ópticas más indispensables en el momento de considerar el efecto rápido sobre la valoración del aspecto y color de un producto recubierto. En cuanto a la capacidad de transparencia abarca la continuidad de la luz lo cual interacciona con relación al objeto como la temperatura de dicho objeto. El aspecto de las películas comestibles es dependiente del hidrocoloide usado y de los aditivos agregados. Normalmente incoloras, con transparencia y sin aditivos son las películas de almidón puro (Miramont, 2012).

- **Solubilidad**

Esta propiedad es de enorme consideración a fin de conocer la utilidad de la película comestible. Para la conservación de alimentos de humedad intermedia a alta, la resistencia al agua de películas comestibles portadoras de antimicrobianos es aceptable para conservar la integridad de la película (Miramont, 2012).

- **Espesor**

Analizan que mientras el espesor de los recubrimientos incrementa, se aumenta la resistencia a la transferencia de masa por medio de ella, consecuentemente, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en el área inferior de la cubierta se aumenta. Otros autores atribuyen el

efecto del espesor a cambios en la composición del recubrimiento causados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Miramont, 2012).

2.3.6 Propiedades Funcionales en los Recubrimientos Comestibles

La utilización correspondiente de los recubrimientos para extender la conservación de la calidad de los alimentos es dependiente principalmente de sus características mecánicas y de barrera, ya que estas características determinan el paso de sustancias por medio de la película que afectan la integridad del alimento, de esta forma como ofrecen una protección mecánica que impide el deterioro del producto. Entonces, es importante comprender los parámetros que se necesita para caracterizar las películas poliméricas, así como los métodos accesibles para cuantificarlos (Mendoza, 2012).

2.3.7 Propiedades Mecánicas en los Recubrimientos Comestibles

Las propiedades mecánicas determinan el comportamiento de los materiales al ser sometidos a diferentes esfuerzos o durante la aplicación de una carga sobre éstos (tensión a la fractura, porcentaje de elongación y módulo de elasticidad), que tienen la posibilidad de estar influenciados por distintos componentes como: el espesor de la muestra, la humedad relativa y temperatura (Mendoza, 2012).

En la mayoría de los casos, la existencia de plastificantes decrece el esfuerzo y el módulo elástico e incrementa los valores de deformación. Por lo cual origina que los plastificantes logran incrementar el volumen libre en la fase amorfa así mismo como disminuye la interacción a través de las cadenas de almidón del polímero. No obstante, un resultado anti-plastificante lleva a cabo si la concentración del plastificante se encontraba debajo de un grado crítico (Miramont, 2012).

2.3.8 Propiedades de Barrera en los Recubrimientos Comestibles

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se encuentra dentro de las propiedades fundamentales en el desarrollo como barrera de las películas biopoliméricas, la permeabilidad de los recubrimientos comestibles se ve afectada por componentes tales como: la polaridad

de los elementos, la naturaleza estructural del biopolímero, la naturaleza del permeante, y la homogeneidad en la dispersión del material en el recubrimiento (Miramont, 2012).

Es importante determinar las condiciones de temperatura y humedad relativa, puesto que algunos materiales son de naturaleza hidrofílica, como resultado se incrementa la actividad de agua y genera un hinchamiento de la matriz polimérica. Esto conlleva a un aumento en la difusión de las moléculas de agua, y como resultado una reducción en esta propiedad de barrera (Mendoza, 2012).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de la Investigación

La presente fase experimental se ejecutó a escala piloto en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala.

3.2 Metodología

En la presente investigación se utiliza un enfoque metodológico basado en fuentes bibliográficas de otros autores que han realizado estudios sobre la extracción y rendimiento de almidón de papa china. Se utilizaron muestras provenientes de la región Amazónica, adquiridas en el mercado Central de la Ciudad de Machala, para la extracción del almidón se aplicó el método físico, por vía húmeda propuesto por Morales (2012), con algunos cambios a escala de planta piloto. El rendimiento porcentual del almidón se lo calcula en relación al peso de la pulpa.

3.3 Materiales

3.3.1 Muestras y sustancias

- Almidón nativo de papa china (*Colocasia esculenta*)
- Agua
- Agua destilada
- Glicerina
- Aceite de tomillo 0,02 %

3.3.2 Reactivos

- Ácido ascórbico ($C_6 H_8 O_6$) 2 % (m/v)

3.3.3 Equipos

- Centrifuga (CLAY ADAMS 105160)
- Balanza de precisión (ADAM, NIMBUS ND620e, AE90Y98)
- Balanza analítica (RADWAG AS 220.X2-S/N 498176)
- Estufa de secado
- Tamices para granulometría fina (HUMBOLT)
- Horno Mufla
- Micrómetro (INSIZE 175-200 MM)
- Viscosímetro Rotacional Fungilab (VISCOLEAD ADVL 210003)
- Analizador de Humedad (OHAUS MB90)
- Refractómetro digital (MILWAUKEE MA871)
- pH-metro (BOECO BT-675)
- Microscopio Binocular Óptico (BOECO BM-2000)

3.2.1 Caracterización fisicoquímica de la papa china

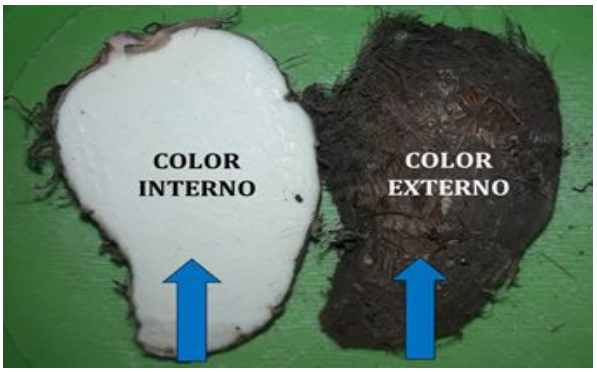
3.2.1.1 Peso

Se realizaron cuatro mediciones del tubérculo de forma individual, con la ayuda de una Balanza de precisión (ADAM, NIMBUS ND620e, AE90Y98) de 0,1 g.

3.2.1.2 Diámetro del Cormo

A la papa china **(**Colocasia esculenta) se la diferencia de otros tubérculos o raíces porque posee un cormo céntrico y en algunos de sus casos presentan unas alargaciones laterales (cormelos) de forma cilíndrica que irán variando tanto en su peso como tamaño además posee una pulpa de color blanco o con un tono rosado suave como se indica en la figura 3, revestida por una cáscara fibrosa (Montalvan, 2013). Se hicieron cuatro mediciones de tamaño.

Figura 3. Forma y color de papa china



3.2.2 Extracción y Rendimiento del Almidón de Papa China (Colocasia esculenta)

Como primer paso de esta etapa consistió en receptar la materia prima (papa china), de tal manera que se hace una selección del mismo es ciertos aspectos como: color, olor, textura para obtener un producto (almidón) de calidad. Después se procede a pesar con la finalidad de poder calcular el rendimiento de almidón que se obtendrá al final, seguidamente se lava el tubérculo con agua potable hasta remover y eliminar la tierra adherida en la superficie del tubérculo, se realiza un pelado de forma mecánica hasta obtener la pulpa colocándolos en un recipiente con agua tratada para evitar la oxidación de la papa china.

Continuando con el proceso se rebana la pulpa en cubos de 2 cm aproximadamente, colocándolos en un recipiente con una solución preparada con agua tratada más ácido ascórbico al 2% m/v por 30 min para evitar el pardeamiento enzimático del mismo para realizar otro lavado de tal manera que se elimine el mucílago que posee la papa china. Luego los cubos son triturados con un procesador de alimentos marca Oster por 30 segundos hasta conseguir una pasta fina y de esta manera separar la fibra de los gránulos de almidón. Esta pasta fina que se obtuvo pasará por varios lavados con agua tratada a través de un tamiz con abertura de 100 a 150 µm, hasta obtener un líquido transparente o también llamada lechada de almidón quedando almacenados contenedores plásticos para aislar el almidón del agua.

El filtrado se deja sedimentar por un tiempo de 24 horas a 20 ºC para separar los gránulos de almidón que se encuentran en suspensión en el agua, pasado el tiempo establecido se retira el sobrenadante. La masa que quedó en la base de los recipientes es colocada en bandejas de

aluminio para ser llevadas a la estufa por 24 horas a 40 ºC considerando que no debe pasar el tiempo de secado ya que existe la posibilidad de que el almidón se quede tornándose de otro color no característico (Morales, 2012).

Una vez que se obtiene esta masa seca es triturada con la ayuda de un mortero para disminuir la granulometría de las partículas del almidón, para ser tamizada con criba de malla 60 (250 μm), finalmente el almidón seco se almacena en recipientes herméticamente cerrados evitando cualquier tipo de contaminación con el medio (Songor, 2019).

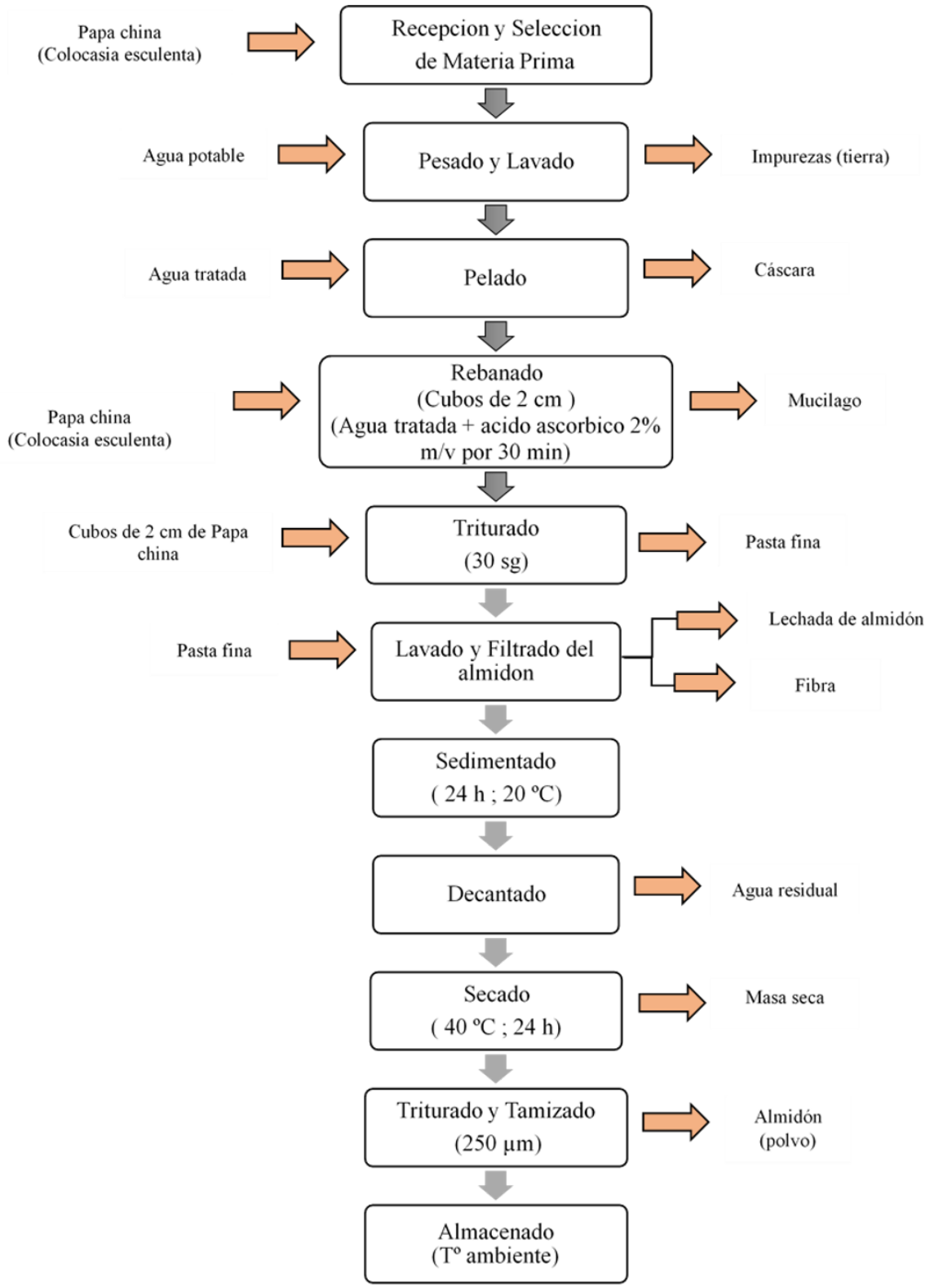
Para calcular el rendimiento total de almidón (%) se aplica la siguiente ecuación propuesta por (Lázaro, 2008).

$$Rendimiento\ \% = \frac{Peso\ del\ almidón\ (b.s)}{Peso\ de\ la\ materia\ prima} * 100 \quad (1)$$

Donde:

b.s : base seca

Figura 4. Diagrama de flujo para extracción de almidón de Papa China (Colocasia esculenta)



3.2.3 Análisis fisicoquímico del almidón de papa china

3.2.3.1 Potencial de hidrogeno (pH)

Se aplicó por potenciometría, con la ayuda de un pH-metro (BOECO BT-675) basado en la norma NTE INEN-ISO 1842-2013. Mezclar 5 g de almidón en base seca con agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO2) hasta completar 50 g de la disolución, seguidamente se filtra para luego hacer la medición. Los ensayos se realizaron por triplicado.

3.2.3.2 Solidos Solubles (º Brix)

Se utilizó una pequeña muestra del triturado y filtrado en la obtención de almidón en base a la norma NTE INEN-ISO 2173 INEN (2013) con la ayuda de un Refractómetro digital (Milwaukee MA871).

3.2.3.3 Índice de madurez

El índice de madurez se realizó, de acuerdo a la norma NTE INEN 2015 aplicando la siguiente ecuación:

$$Índice\ de\ madurez = \frac{Sólidos\ solubles\ (^{o}Brix)}{Acidez\ titulable} \quad (2)$$

3.2.3.4 Acidez titulable (% ácido sulfúrico)

Se empleó por volumetría, de acuerdo a la norma NTE INEN 521-2013, realizando estos ensayos por triplicado. Tomar una alícuota del filtrado anterior usando fenolftaleína como indicador (2-3 gotas) agregando NaOH al 0.1 N hasta obtener un tono rosado que desaparece poco a poco. La acidez titulable varía de acuerdo a los agentes titulantes que se vayan a utilizar como en el caso de las harinas se expresa como porcentaje de ácido sulfúrico, correspondiendo cada mL de NaOH N/10 a 0.049 g de ácido sulfúrico calculando por medio de esta ecuación:

$$\%\ acidez\ = \frac{(G*N*meq\ del\ ácido)}{M} * 100 \quad (3)$$

Donde:

G: volumen gastado por la base (mL)

N: normalidad de la base (0,1 N)

meq: milis equivalentes del ácido predominante en la muestra ácida

M: gramos o mililitros de muestra en la alícuota

3.2.3.5 Materia seca

Se determinó por el método gravimétrico de acuerdo a ICONTEC (2002), se pesaron 3 g de almidón bs en cápsulas plenamente vacías, limpias y taradas para luego ser llevadas a la estufa 80±1ºC por 24 horas, dejar enfriar en un desecador por 30 min para luego ser pesadas hasta obtener peso constante. Los ensayos se realizaron triplicado y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\%\ materia\ seca\ = \frac{(p3-p1)}{(p2-p1)} * 100 \qquad (4)$$

Donde:

p1= peso de la cápsula (g)

p3= peso de la muestra + capsula (g)

p2= peso de la cápsula + materia seca (g)

3.2.3.6 Humedad

El contenido de humedad del almidón se la obtiene de dos formas ya sea con un Analizador de Humedad (OHAUS MB90) o por el método gravimétrico establecido por la Normativa Ecuatoriana NTE INEN-ISO 712, estos ensayos se realizaron por triplicado. Después de conocer la variable de materia seca por diferencia se aplica la siguiente ecuación:

$$\%H = 100 - \%\ materia\ seca \quad (5)$$

Donde:

%H = porcentaje de humedad

3.2.3.7 Cenizas

El contenido de cenizas se determinó por el método gravimétrico descrito por la Normativa Ecuatoriana NTE INEN-ISO 520-2013, se pesaron 3 g de almidón bs en un crisol vacío, limpio y tarado, para ser llevada a la mufla a 650ºC por 4 h. Enfriar en un desecador por 30 min para luego pesar la muestra incinerada hasta obtener peso constante. Estos ensayos se realizaron por triplicado, calculando:

$$\%\ cenizas = \frac{Peso\ de\ la\ cenizas\ \ (g) * 100}{Peso\ de\ la\ muestra\ (g)} \quad (6)$$

3.2.3.8 Lípidos

La determinación de lípidos se efectuó por gravimétrico, de acuerdo al método AOAC 21TH 922.06 modificado en el Laboratorio AVVE S.A.

3.2.3.9 Proteína

Se realizó por titrimétrico, de acuerdo al método AOAC 21TH 920.87 modificado en el Laboratorio AVVE S.A.

3.2.3.10 Fibra

El contenido de fibra se realizó por gravimétrico, en base a la Norma NTE INEN 522 modificado en el Laboratorio AVVE S.A.

3.2.3.11 Carbohidratos totales por diferencia

El valor de carbohidratos totales por diferencia se efectuó en el Laboratorio AVVE S.A, por cálculo de acuerdo al método MMQ-198.

3.2.3.12 Calcio (límite de cuantificación 0,2 mg/Kg)

Se aplicó por espectrofotometría de absorción atómica/F de acuerdo el método MMQ-AAS-18 AOAC 21TH 985.35 modificado en el Laboratorio AVVE S.A.

3.2.3.13 Densidad aparente de almidón suelto

La densidad aparente del almidón se efectuó de acuerdo a ICONTEC (2002), pruebas realizadas por triplicado se pesó una probeta de 50 mL añadiendo almidón de papa china hasta alcanzar los 20 mL, nuevamente se pesó la probeta más la muestra y por diferencia se adquirió el peso de la muestra empleando la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{m}{v} \quad (7)$$

Donde:

Da : densidad aparente (g/mL)

m: peso del almidón (g)

v: volumen del sólido (mL)

3.2.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china

3.2.4.1 Temperatura de gelatinización

Se determinó de acuerdo a lo reportado por Aristizábal y Sánchez (2007). Se pesaron aproximadamente 10 g de almidón más 100 mL de agua destilada, disolviendo hasta obtener una muestra homogénea luego tomar una muestra de 50 mL de la solución llevándola al Baño a María (85°C±1) en constante agitación hasta formar una pasta midiendo la temperatura en el momento que se produce la gelatinización. Estos ensayos se realizaron por triplicado.

3.2.4.2 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH)

Estos tres métodos se realizaron por triplicado a diferentes temperaturas. Se pesaron 1.25 g de almidón añadiendo 30 mL de agua destilada precalentada, llevar a baño maría (60,70 y 80 ºC) por 30 minutos agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Colocar la suspensión en Tubos cónicos tipo Falcon de 14 ml en la centrífuga a 4900 RPM a 30 min después decantar el sobrenadante en una probeta de 50 mL para registrar el volumen, tomar 10 mL del sobrenadante en un vaso de precipitación de 150 mL (pesado) para ser llevada a la estufa 70°C±1 por 24 horas, pesar el gel.

El Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH) se calcularon por medio de estas ecuaciones:

$$Índice\ de\ absorción\ de\ agua\ (IAA) = \frac{Peso\ del\ gel\ (g)}{Peso\ muestra\ (g)\ bs} \quad (8)$$

$$Índice\ de\ solubilidad\ en\ agua\ (ISA) = \frac{Peso\ solubles\ (g)}{Peso\ muestra\ (g)\ bs} * 100 \quad (9)$$

$$Poder\ de\ Hinchamiento\ (PH) = \frac{Peso\ del\ gel\ (g)}{Peso\ muestra\ (g)\ bs - Peso\ solubles\ (g)} \quad (10)$$

3.2.4.3 Viscosidad

La prueba de viscosidad se realizó por duplicado, de acuerdo a la técnica ISI,2002 reportada por Aristizábal y Sánchez (2007), preparando la concentración de la suspensión de almidón para ser medida con el viscosímetro rotacional, empleando el husillo L2 a 10 rpm a 25ºC expresando su valor en unidades de Cp.

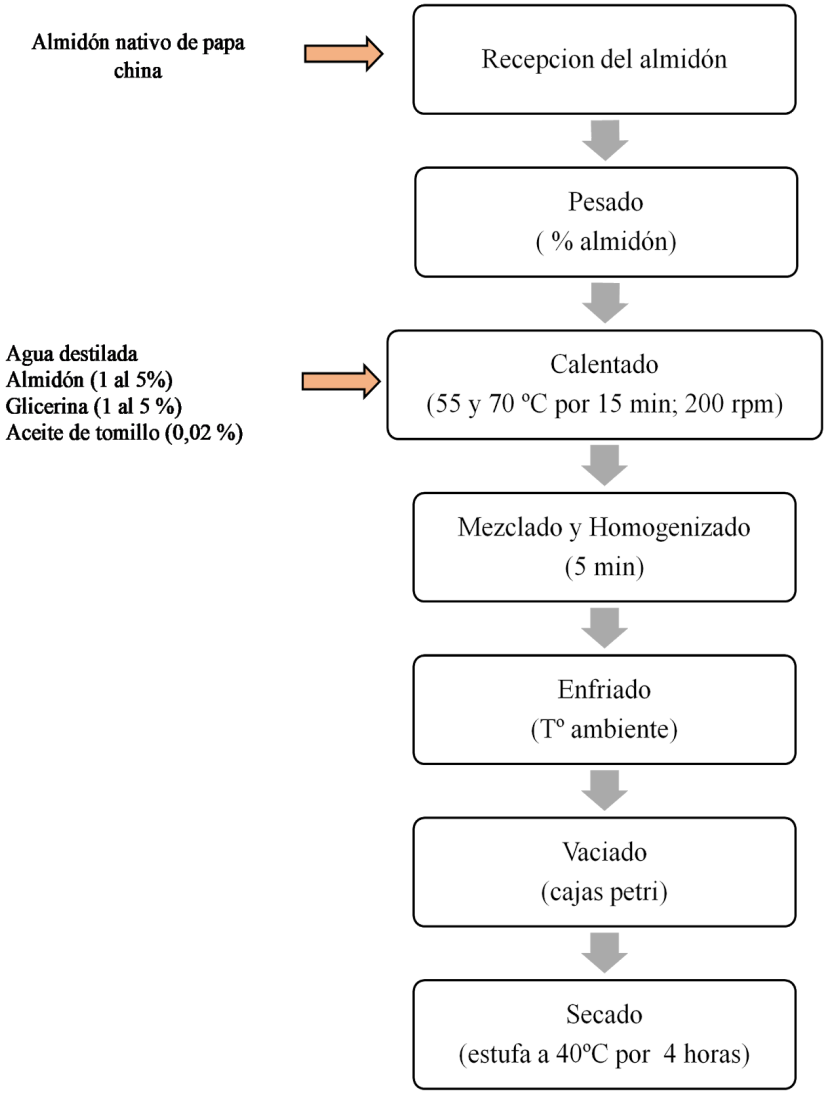
3.2.4.4 Microscopia óptica

La observación morfológica del almidón se la realizó en base a lo propuesto por (Oñate, 2018). Se procede a preparar la solución combinando 100 mg de almidón en 5 mL de agua destilada agitando la muestra (homogénea). En un portaobjeto colocar una alícuota de la solución preparada, más una gota de lugol y una gota de aceite de inmersión. La observación se la realizó con un microscopio binocular óptico, con una resolución de 100X.

3.2.6 Preparación del Recubrimiento Comestible

La elaboración del recubrimiento comestible se lo realizó de acuerdo a la metodología propuesta por (Ordoñez et al, 2014). Para la cual se realizaron diferentes ensayos, variando las concentraciones de almidón como de glicerina del 1 al 5% y a temperaturas de 55 a 70ºC. Luego estas soluciones son llevadas a baño maría a movimiento constante (200 rpm) por un tiempo de 15 minutos agregando un 0.02 % aceite de tomillo, hasta obtener un medio homogéneo. Dejar enfriar la mezcla a temperatura ambiente por 5 min para trasvasar directamente en las cajas Petri y ser llevadas a la estufa a 40ºC por 4 horas.

Figura 5. Diagrama de flujo para la preparación del recubrimiento comestible a base de almidón de Papa China (Colocasia esculenta)



3.2.7.1 Espesor

Para la medición del espesor se utilizó directamente un micrómetro, dividendo al recubrimiento entre secciones del diámetro de la circunferencia de la caja petri (Anchundia, Santa Cruz y Coloma, 2016).

3.2.8 Diseño Experimental

Para la preparación del recubrimiento comestible se partió de una formulación base propuesta por (Ordóñez et al, 2014) que visualiza en la tabla 1. Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI.II, con un nivel de significancia $p \leq 0,05$ partiendo de un diseño factorial 2^3 que incluye una réplica por cada ensayo. Considerando estos dos componentes: concentración de almidón y temperaturas, siendo su variable de respuesta el espesor del recubrimiento comestible.

Tabla 1. Formulación base del recubrimiento comestible

Componentes	Unidades
Almidón	4 %
Temperatura	55 y 70ºC
Glicerina	2%
Aceite de tomillo	0,02 %

Fuente: (Ordoñez et al, 2014)

Tabla 2. Corridas experimentales de acuerdo al diseño factorial 2^3 en la preparación del recubrimiento comestible

#	Bloques	Temperatura ºC	Almidón %	Glicerina %	Espesor mm
1	1	55,0	5,0	1,0	0,10
2	1	55,0	1,0	1,0	0,11
3	1	70,0	1,0	5,0	0,12
4	1	70,0	1,0	1,0	0,10
5	1	70,0	5,0	5,0	0,13
6	1	70,0	5,0	1,0	0,11
7	1	55,0	5,0	5,0	0,14
8	1	55,0	1,0	5,0	0,10
9	2	55,0	5,0	1,0	0,11
10	2	55,0	1,0	1,0	0,12
11	2	70,0	1,0	5,0	0,10
12	2	70,0	1,0	1,0	0,12
13	2	70,0	5,0	5,0	0,14
14	2	70,0	5,0	1,0	0,15
15	2	55,0	5,0	5,0	0,15
16	2	55,0	1,0	5,0	0,13

Estas pruebas de ensayo se realizaron en un orden secuencial de acuerdo al software con el objetivo de respetar la aleatoriedad del diseño experimental.

Tabla 3. Efectos estimados para Espesor (mm)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	0,120625	0,00330719	
A: Temperatura	0,00125	0,00661438	1,0
B: Almidón	0,01625	0,00661438	1,0
C: Glicerina	0,01125	0,00661438	1,0
AB	0,00625	0,00661438	1,0
AC	-0,00875	0,00661438	1,0
BC	0,01125	0,00661438	1,0
Bloque	0,01375	0,00661438	1,0

Errores estándar basados en el error total con 8 g.l.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión sería entre los efectos.

Figura 6. Diagrama de Pareto Estandarizada para espesor

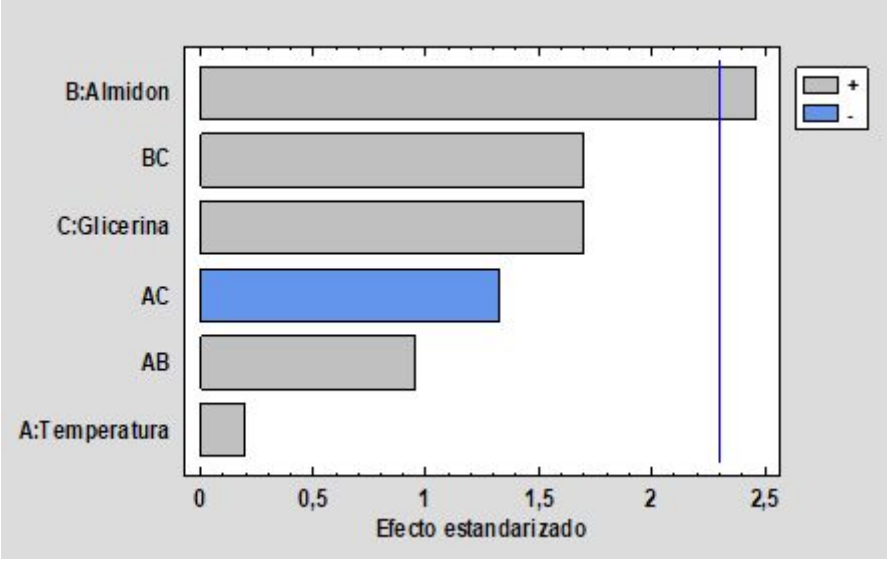


Tabla 4. Análisis de Varianza para Espesor

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0,00000625	1	0,00000625	0,04	0,8548
B: Almidón	0,00105625	1	0,00105625	6,04	0,0395
C: Glicerina	0,00050625	1	0,00050625	2,89	0,1274
AB	0,00015625	1	0,00015625	0,89	0,3724
AC	0,00030625	1	0,00030625	1,75	0,2224
BC	0,00050625	1	0,00050625	2,89	0,1274
bloques	0,00075625	1	0,00075625	4,32	0,0712
Error total	0,0014	8	0,000175		
Total (corr.)	0,00469375	15			

R-cuadrada = 70,1731 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 44,0746 por ciento

Error estándar del est. = 0,0132288

Error absoluto medio = 0,0075

Estadístico Durbin-Watson = 2,17969 (P=0,5568)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0970982

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Espesor en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 70,1731% de la variabilidad en Espesor. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 44,0746%.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0132288. El error medio absoluto (MAE) de 0,0075 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Figura 7. Efectos principales para Espesor

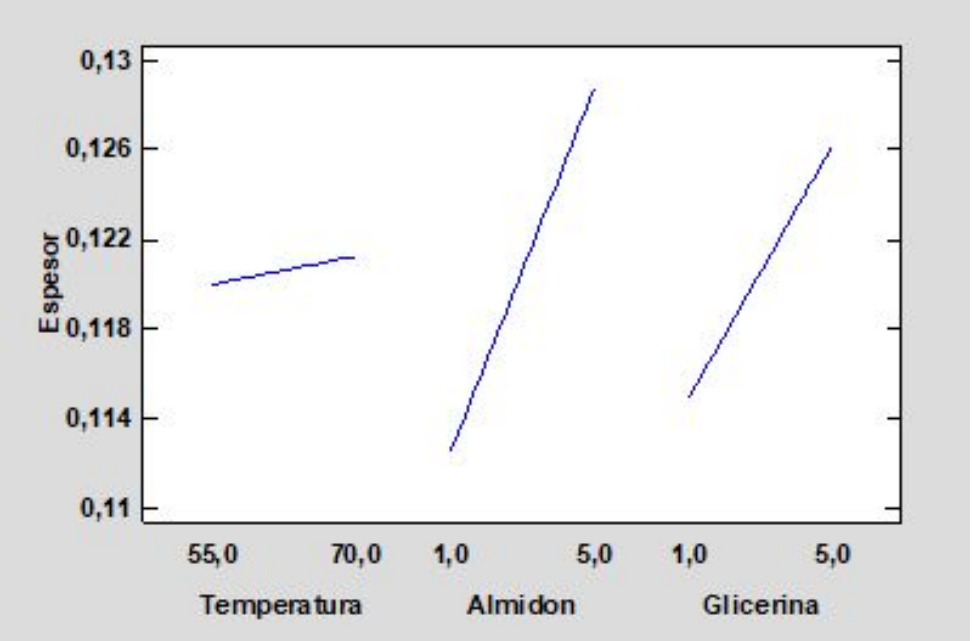


Tabla 5. Coeficiente de regresión para Espesor

Coeficiente	Estimado
constante	0,0918229
A: Temperatura	0,000333333
B: Almidón	-0,0131771
C: Glicerina	0,0168229
AB	0,000208333
AC	-0,000291667
BC	0,00140625

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

*Espesor = 0,0918229 + 0,000333333*Temperatura - 0,0131771*Almidón + 0,0168229*Glicerina + 0,000208333*Temperatura*Almidón - 0,000291667*Temperatura*Glicerina + 0,00140625*Almidón*Glicerina*

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Figura 8. Interacción para espesor

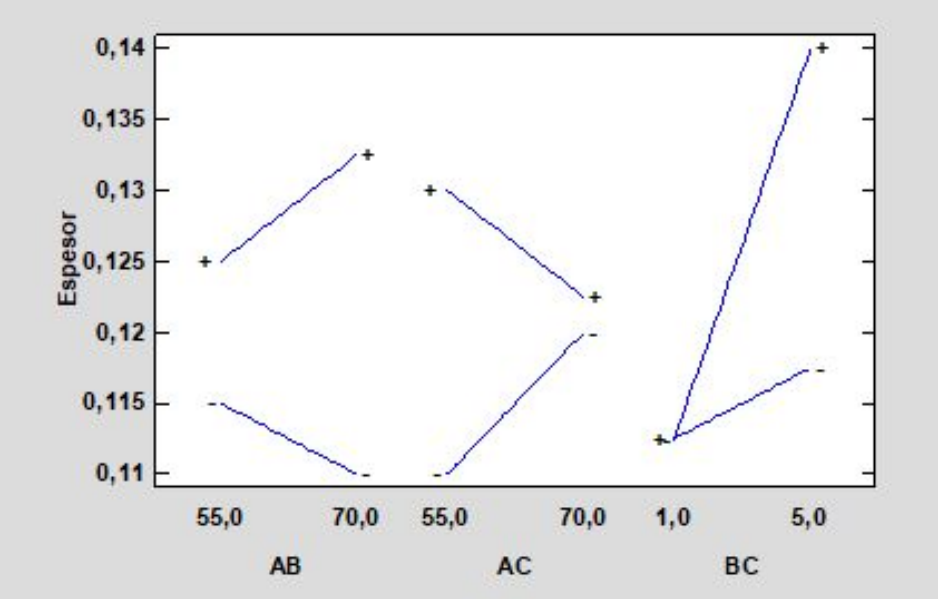


Tabla 6. Optimización de Respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	55,0	70,0	55,0
Almidón	1,0	5,0	5,0
Glicerina	1,0	5,0	5,0

Meta: maximizar Espesor

Valor óptimo = 0,140625

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Espesor sobre la región indicada.

Figura 9. Superficie de respuesta estimada

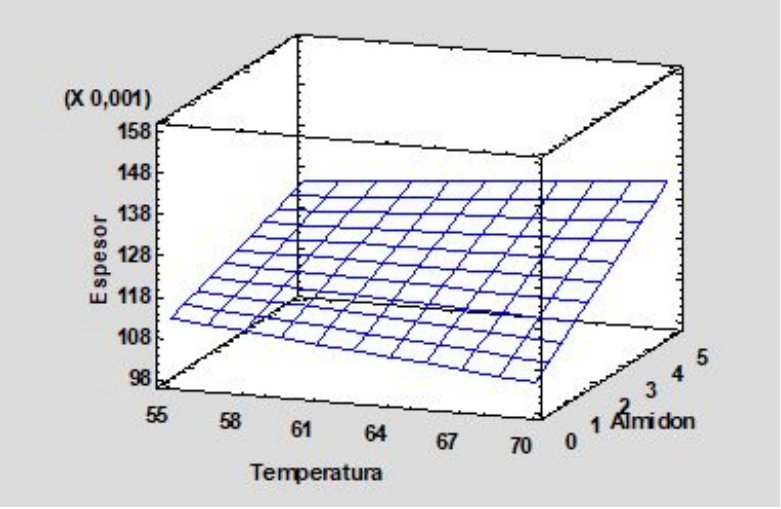
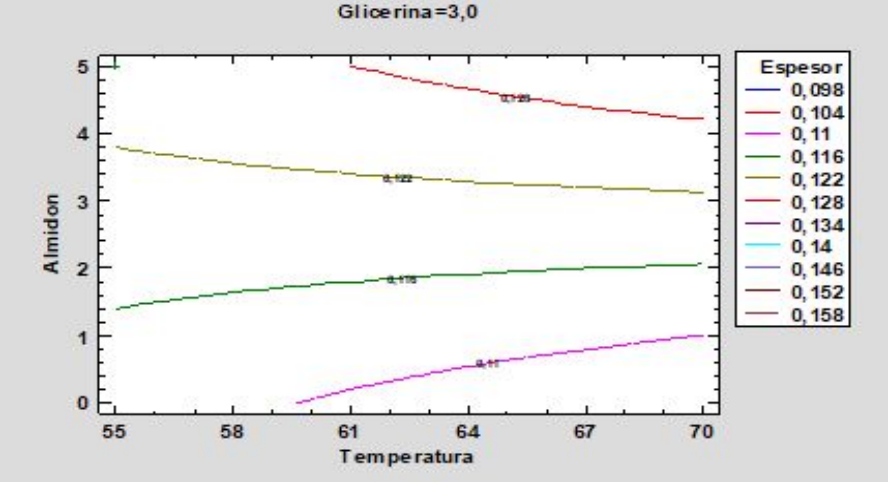


Figura 10. Contornos de la superficie de respuesta estimada



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características físicas de los cormos.

A partir de estos valores obtenidos en la medición del peso, diámetro y longitud del cormo (Tabla 7), reportados por Montalván en el año 2013 son los siguientes: longitud (32,83 cm); diámetro (16,57 cm); peso (1,85 Kg).

Tabla 7. Características físicas del cormo de la papa china

Características físicas (cm)	Cormo (papa china)
Longitud	19,65
Diámetro	14,27
Peso (g)	0,084

Los valores están expresados como la media de n=3 mediciones ± la desviación estándar

Estos resultados pueden variar debido que la mayor parte de los cosechadores no consideran o tienen el conocimiento técnico suficiente para acondicionar las zonas donde se harán las cosechas de papa china, este factor limita al desarrollo de este tubérculo (cormo) es el tipo de suelo como la composición del mismo, es decir estas plantas no se adaptan en suelos arcillosos sino en terrenos húmedos con abundante materia orgánica y un pH (5.5-6.5) (Montalvan, 2013).

4.2 Rendimiento del almidón extraído de la papa china.

El rendimiento total del almidón extraído se determinó en base a una ecuación propuesta por Lázaro (2008), obteniendo un valor (Tabla 8) inferior a lo reportado por Morales en el año 2012 (25% b.s) en su estudio de papa china cultivada en Perú, además difiere también de lo

publicado por Songor (2019) quien refiere un valor de rendimiento de 19,89%. Sin embargo, dicho valor es superior a lo sugerido por Oñate (2018) (9%). Estas diferencias pueden deberse a las condiciones climáticas y suelos de cultivo, así como el índice de maduración del tubérculo, entre otros factores (Garcia, Pinzon y Sánchez, 2013).

Tabla 8. Rendimiento de almidón de papa china

Peso papa (g)	Peso cáscara (g)	Peso pulpa (g)	Masa lavada (g)	Almidón seco (g)	Rendimiento (%)
3404,7	832,4	2572,3	2173,9	284	13,06

Además, otra posible diferencia de acuerdo a Berliz (1988) señala "cuando el rendimiento es menor posiblemente sea a que los gránulos de almidón no se hallan libremente en el interior de las células de tal modo que su extracción sea fácil, más por el contrario los gránulos contenidos en su matriz proteica; siendo más costosa y trabajosa su extracción" (Quiñonez, 2013)

4.3 Caracterización físico químico del almidón de papa china

En la tabla 9 se presenta los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos del almidón de papa china, para sus respectivas comparaciones.

El valor de pH que se obtuvo es cercano a lo reportado por Rowe, Sheskey, & Owen, 2003 (5,5-6,5) en su estudio de almidones de arroz, achira y papa. A diferencia que este resultado es inferior a lo manifestado por Aristizábal y Sánchez 2007, en su Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca quien refiere un aproximado de (6,0 a 6,5) en almidones nativos señalando que pH menores a 4,0 se produce una fermentación ácido láctico. Difiriendo también de lo publicado por Obregón y Repo en el 2013, un pH (6,3-6,9). Estas diferencias de pH pueden variar de acuerdo a los contenidos de ácidos orgánicos que presentan los tubérculos en su estado de madurez (Diaz, 2015).

Tabla 9. Análisis fisicoquímico del almidón de papa china

Parámetros	Resultados
Acidez Titulable (% ácido sulfúrico)	0,78
pH	4,75
Sólidos Solubles (º Brix)	3,08
Índice de madurez (º Brix/acidez titulable)	3,94
Materia seca (%)	87,31b.s
Humedad (%)	12,69
Cenizas (%)	0,26
Densidad Aparente (g/mL)	0,63
Lípidos (%)	0,55
Proteína (%)	3,84
Fibra (%)	0,09
Calcio (límite de cuantificación 0,2 mg/Kg)	54,5
Carbohidratos totales por diferencia	82,63

Los valores están expresados como la media de n=3 mediciones ± la desviación estándar.

El total de acidez titulable que presentó el almidón de papa china expresado como ácido sulfúrico/g de almidón, de acuerdo a la Normativa Ecuatoriana INEN-ISO 521 en harinas de origen vegetal es (0,2 %) no cumple con lo mínimo establecido siendo considerado como un factor de calidad, difiriendo a lo publicado por Aristizábal y Sánchez, 2007 (0,022) en almidones nativos, considerando como posible causa referida por Obregón y Repo, 2013 es la cosecha prematura de los tubérculos.

En el contenido de materia seca, que se obtuvo es un valor que se encuentra dentro de los límites de acuerdo a lo reportado por Aristizábal y Sánchez en el 2007 (87-90%), al igual a lo publicado por Vargas en el 2000, en su estudio de composición de los subproductos de trigo:

grano de trigo, acemite y salvadillo refiriendo un rango de (85,5 - 92%) que deben tener estos subproductos. A diferencia a lo manifestado por Oñate, 2018 (91,43%), valor ligeramente superior a lo que se reportó en la literatura anterior. Estos posibles desacuerdos mencionados por Aristizábal y Sánchez, 2007 en su guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, son las condiciones severas de secado a la que estuvo sometida la muestra como también la posible contaminación con hongos u otros microorganismos.

El valor de humedad residual que se obtuvo en el almidón nativo de papa china, cumple con el rango establecido por la Normativa Ecuatoriana INEN-ISO 712 en harinas de origen vegetal (10-13%) como la Norma del Codex para la harina de trigo 152-1985, (15,5 % m/m máximo) y a lo reportado por Torres, Duran y Montero, 2013 (14,99 %). A diferencia de lo publicado por Songor en el 2019 quien refiere un valor de 9,3 % y Mendoza, 2012 con un 10% aproximadamente en almidones nativos. Como posibles causas de acuerdo a lo mencionado por Mindiolaza, 2016 son: condiciones de almacenamiento, incorrecta manipulación, técnica de aislamiento.

Por otro lado, otra razón muy importante por la cual se debe determinar la humedad en los almidones, se debe a que se encuentra directamente relacionada con la vida de anaquel de los mismos (Hernández, 2016). En un estudio de películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad reportan que la humedad en base seca para PN (películas nanoestructuradas) fue de 11.46 % y para PSN (películas sin nanoestructurar) fue de 21.8 % , estas posibles causas referidas por Vázquez, Rivadeneyra y Díaz en el 2019, se deben a la distribución de las moléculas de agua, así como de una menor movilidad de las mismas.

El valor de cenizas residuales de acuerdo a la Normativa Ecuatoriana NTE INEN 520:2013 en harinas de origen vegetal (0,7-3%), no cumple con lo establecido al igual a lo reportado por Aristizábal y Sánchez en el 2007 (0,12 %) y por Morales, 2012 (1,2 %). Sin embargo coincide con los resultados expuestos por los autores Torres, Duran y Montero, 2013 (0,27 %) en papa china de variedad blanca. El contenido de cenizas podría diferir de acuerdo a la variedad de papa china, el tipo de suelo o estado de madurez del cormo (Himeda et al, 2012).

La densidad aparente del almidón que se obtuvo es inferior a lo reportado por Aristizábal y Sánchez en el 2007 (1,560 g/mL). Una posible causa referida por Oñate, 2013 es el tamaño de partículas y su distribución granulométrica ya sea en alimentos granulados y polvos.

El contenido de lípidos es superior a lo manifestado por Oñate, 2013 (0,34 %), Vargas y Hernández, 2012 (0,42 %) al igual a lo reportado por Meaño et al,2014 (0,21%). Estos posibles desacuerdos podrían afectar a las propiedades funcionales del almidón dando como consecuencia la rancidez del mismo (Oñate, 2018).

La fibra total del almidón es inferior a lo publicado por Oñate, 2013 (6,15 %), Torres et al, 2013 (0,57 a 0,67 %) en almidón de papa china blanca y morada, así mismo a lo expuesto por Vargas y Hernández, 2012 (17,9 %) en su estudio de Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. Estos valores se ven afectados de acuerdo a la proporcionalidad que exista a mayor madurez del cormo mayor será la cantidad de fibra que tendrá este tubérculo; siendo otro aspecto muy importante el proceso de aislamiento del almidón (Oñate, 2018).

El contenido de proteína que posee este almidón se encuentra dentro del rango establecido por Aboubakar et al, 2008 (2,9 al 4,9 %), siendo a su vez superior a lo expuesto por Oñate,2013 (2,18%), pero a su vez inferior a lo propuesto por Vargas y Hernández, 2012 (6,4 %) quien manifiesta que el contenido nutricional tanto en almidones como harinas es altamente energético y son fuente de carbohidratos, sin embargo, son escasos en proteína y bajos en grasa, por lo que se pueden usar para mejorar el contenido energético de ciertos alimentos, sin suministrar grasa extra, por lo que también pueden ser un ingrediente funcional.

4.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china

Las propiedades funcionales van a variar de acuerdo a la relación que exista entre estos dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina viéndose afectadas por ciertos factores como el tiempo de cosecha, la precipitación y la productividad del suelo. Cabe mencionar que durante un tratamiento hidrotérmico que se le realicen al almidón este se verá afectado en su parte estructurar, atravesando tres etapas como la gelatinización, gelificación y retrogradación

dando como consecuencia al hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura del almidón (Songor, 2019).

Tabla 10. Análisis de las propiedades funcionales del almidón de papa china

Parámetros	Resultados
Temperatura de gelatinización (ºC)	69,68
Viscosidad (cP)	1626,3

Los valores están expresados como la media de n=3 mediciones ± la desviación estándar.

La temperatura de gelatinización que alcanzó el almidón es un valor cercano a lo reportado por Oñate (70,5ºC). Sin embargo, se encuentra dentro de los rangos que reporta Aristizábal y Sánchez (57,5 -70ºC) en su guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, difiriendo a lo publicado por Songor (2019) quien refiere un valor de 58-62ºC. Estas diferencias se pueden relacionar a ciertas causas como: la presencia de zonas semicristalinas, tamaño del gránulo (los más grandes tienden a hincharse y absorben agua antes que los pequeños) variedad de almidón, contenido de amilosa y amilopectina, pH, cantidad de agua y contenido de sales (Mendoza , 2012).

La viscosidad que se obtuvo fue del 1% con respecto a lo manifestado por Aristizábal y Sánchez (840-1500 cP). De acuerdo a otros estudios el resultado puede variar en relación a la amilosa y amilopectina, es decir, a mayor amilopectina no se retrogradan fácilmente los gránulos de almidón al momento de enfriarse (Alvis et al, 2008). Además otra atributo que se relaciona a la viscosidad es la digestibilidad de acuerdo al estudio que realizó Robertson, 1998 quien manifiesta mientras más viscoso sea un alimento más pausado será su digestión (Vargas y Hernández, 2012).

Los resultados que se obtuvieron en la tabla 11 de capacidad de retención de agua (CRA), solubilidad (S) y poder de hinchamiento (PH) de almidón de papa china, fueron colocadas a distintas temperaturas de 50,60,70 y 80ºC. Los valores en cuanto a la capacidad de retención de agua (50 y 60ºC) presentaron similitud en los sólidos solubles a diferencia que en las temperaturas de 70 y 80ºC no hubo precipitación del almidón, siendo estas temperaturas no

coincidentes a lo manifestado por Oñate,2013 (50 y 70ºC). No obstante, estos valores obtenidos se encuentran del rango establecido por Aristizábal y Sánchez (0,82 y 15,52 g gel/g muestra). De acuerdo a otras investigaciones donde el almidón supera los 70ºC, se producirá automáticamente una gelatinización debido a que los puentes de hidrógeno se dividirán facilitando la unión de las moléculas al grupo hidroxilo y a su vez la expansión del gránulo del almidón (Lalaleo, 2017)

Tabla 11. Capacidad de retención de agua (CRA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH) del almidón de papa china.

Temperatura (ºC)	CRA (g de agua/g de muestra)	ISA (%)	PH (g de agua/g de muestra
50	2,19 ± 0,12	0,64 ± 0,04	2,60 ± 0,13
60	2,34 ± 0,10	4,68 ± 0,22	2,86 ± 0,12
70	3,01 ± 0,03	5,21 ± 0,02	3,02 ± 0,2
80	9,41 ± 0,10	8,22 ± 0,15	9,05 ± 1,0

Los valores están expresados como la media de n=3 mediciones ± la desviación estándar.

La solubilidad se incrementa a medida que la temperatura asciende dando como resultado 8,22% a 80℃,encontrándose dentro de lo que manifiesta Aristizábal y Sánchez (0,27 y 12,32 %), a diferencia de lo que reporta Torres, 2013 en su estudio quien obtuvo a 60℃ un promedio (12,8 y 23,07%) de papa china de la variedad blanca y morada, sin embargo las temperaturas altas y el contenido mayor de amilopectina presente en los almidones, genera que las moléculas del almidón y el menor tamaño del gránulo facilite la entrada del agua aumentando la solubilidad de los polímeros.

El poder de hinchamiento obtenido se encuentra dentro del límite, a lo publicado por Aristizábal y Sánchez (0,79 y 15,45 g gel/g muestra), además este aumento se debe a la masa del almidón no solubilizado con respecto a la absorción de agua se da a la presencia de los grupos hidroxilos de los polímeros de amilosa y amilopectina (Meaño et al, 2014). Otra causa posible es el bajo contenido de amilosa y el aumento de temperatura produce la

relajación progresiva de las fuerzas de enlace de los gránulos presentando un elevado poder de hinchamiento (Miranda, Marrugo y Montero, 2013)

4.5 Microscopía óptica del almidón de papa china

En la figura 11 se puede observar la microscopia de la forma y distribución que tienen los gránulos de almidón de papa china con la ayuda de un microscopio binocular óptico, presentando forma poliédricas y esféricas con una distribución dispersa. Estas características concuerdan a lo reportado por Oñate en el 2018, (figura 12) poseen una forma poliédrica y esférica con una distribución dispersa. Características coincidentes a lo publicado por Ríos, 2014 y Torres et al, 2003 identificando que los gránulos de almidón de papa china poseen una forma esférica y poligonal, difiere también de lo publicado por Palomino, 2010 reportando que el almidón de papa china tiene forma elipsoidales truncadas, redondas y poliédricas. Como posibles causas referidas a Medina y Salas,2008 de acuerdo a las variaciones en tamaño y forma de los gránulos de almidón pueden ser atribuibles al origen biológico, a las prácticas de cultivo, a la bioquímica del cloroplasto o amiloplasta y a la fisiología de la planta.

Figura 11. Microscopia óptica del almidón de papa china teñido con lugol

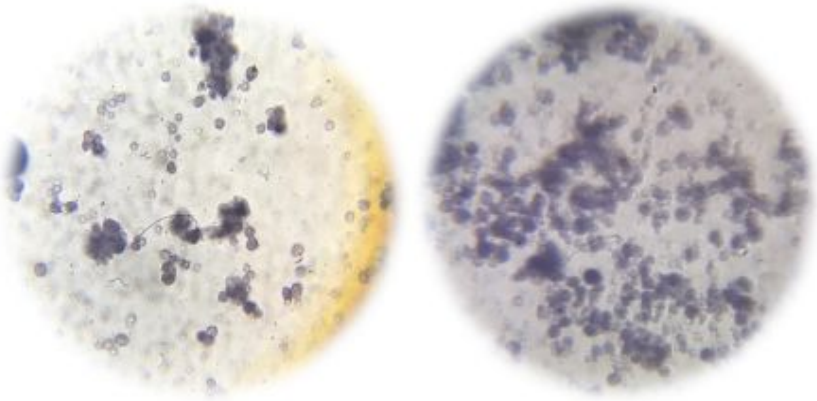
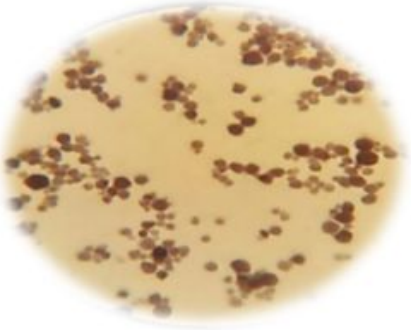


Figura 12. Microscopia óptica del almidón de papa china



Fuente: (Oñate, 2018)

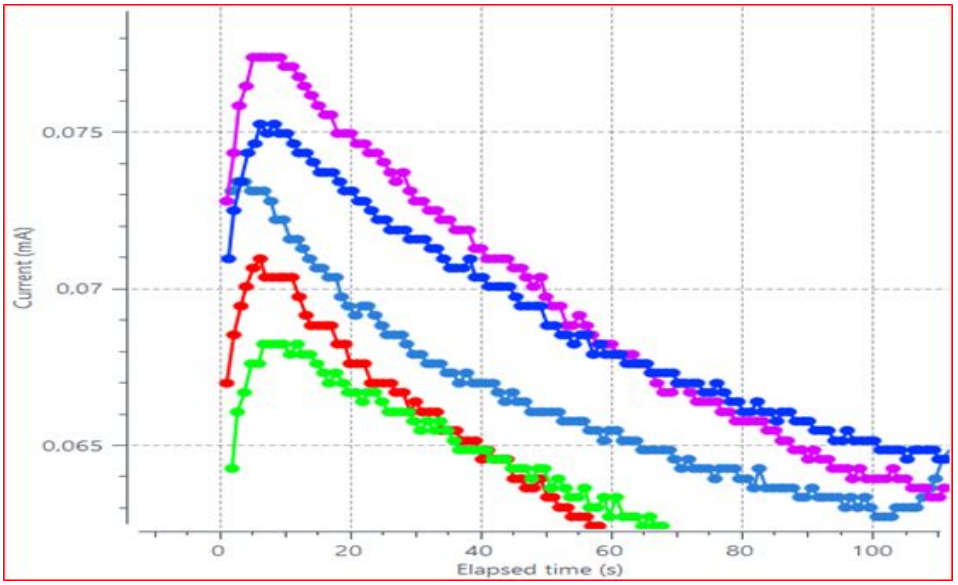
De acuerdo a lo reportado por Torruco,2004 difiere que el tamaño de los gránulos de almidón, es un factor que tiene influencia sobre las características nutrimentales y funcionales. Mientras más pequeños sean los gránulos, presentan mayor digestibilidad, en tanto que, de manera general, se considera que los gránulos más grandes gelatiniza primero y los pequeños después, aunque esto no es un patrón universal. También se ha informado que los gránulos de menor tamaño tienen una mayor solubilidad y capacidad de absorción de agua que los gránulos de mayor tamaño (Mendoza , 2012).

4.6 Determinación iónica de pureza del almidón de papa china

Se usó el método de Impedancia electroquímica por onda cuadrada – potenciostato por medio de la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS, por sus siglas en inglés Electrochemical Impedance Spectroscopy), es una técnica electroquímica muy útil para la detección y cuantificación de iones.

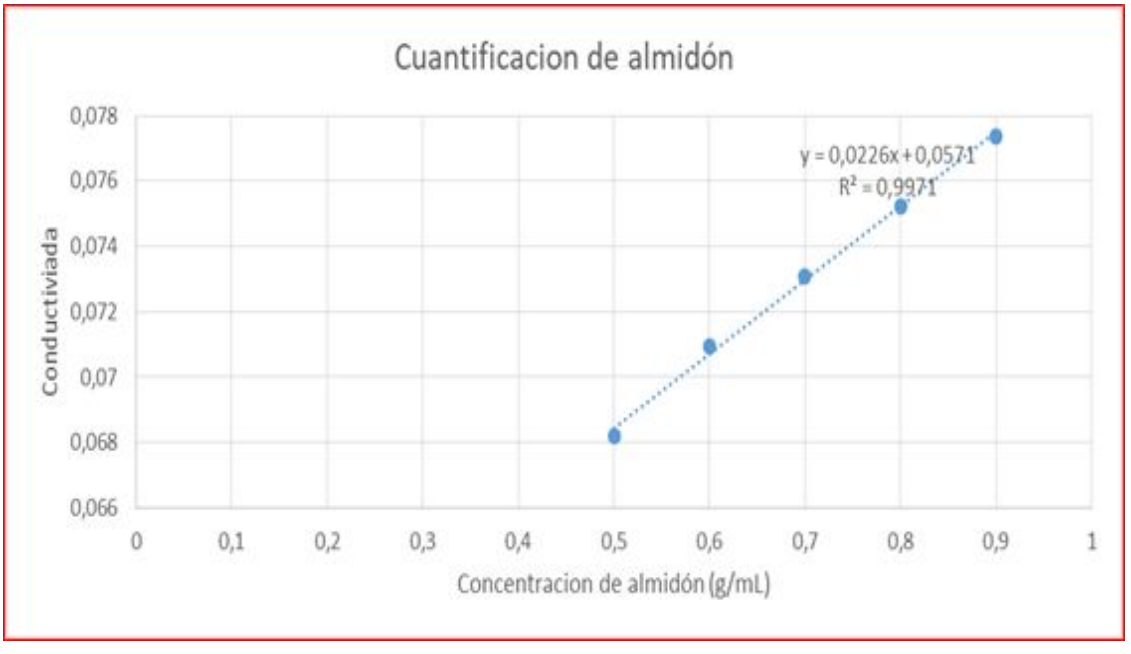
A partir de la investigación bibliográfica se ha determinado que para obtener una recta de cuantificación del almidón se basa principalmente en el complejo lugol-amilosa, siendo un buffer compuesto de 1.25 g de Yoduro de potasio, 2.5 g de yodo aforados a 250mL de agua destilada. Aquel buffer sirve como aforó a 25 ml con almidón diluido (la cantidad de almidón depende de la muestra patrón a realizarse) en 10 ml de agua destilada. Se realizaron cinco muestras patrón con variación de 0.1 g/mL entre ellas, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 13. Representación gráfica soluciones patrón Corriente vs tiempo, donde a mayor concentración mayor es la corriente (mA) en el equipo.



la figura 13 se puede visualizar la proporcionalidad directa existe entre la conductividad de las soluciones y las concentraciones de almidón de papa china, en el rango donde las concentraciones existiendo un coeficiente de correlación de 0.9971 , una pendiente de 0.0226 y una constante aditiva de 0.0571, al aplicar regresión lineal.

Figura 14. Regresión lineal para cuantificación de almidón de papa china



Concentración (g/ml)	Conductividad
0,5	0,06821
0,6	0,07096
0,7	0,0731
0,8	0,07524
0,9	0,07738

Además de cuantificar el almidón en distintos tipos de muestras, mientras continúa aumentando las concentraciones de almidón el valor de la pendiente va disminuyendo mostrando la tendencia a un estado de saturación de dicha muestra.

Con los resultados obtenidos de la muestra de almidón de papa china cumple con todos los parámetros estándar, se diseña un protocolo propio de medición de concentraciones a partir de los espectros de impedancia en onda cuadrada, que consiste en el mismo método pero esta vez para medir otros tipos de almidones.

4.7 Verificación de hipótesis

De acuerdo al análisis estadístico, se rechaza la hipótesis nula para aceptar la hipótesis alternativa debido que los porcentajes inferiores de almidón nativo de papa china (Colocasia esculenta), glicerina y temperatura de calentamiento si influyen significativamente ($p \geq 0,05$) en el espesor del recubrimiento comestible debido que se obtuvo un espesor de 0.10 mm.

De acuerdo a Santacruz et al., en su investigación de películas comestibles de almidón de papa y yuca obtuvieron valores de 0.15 y 0.13 mm respectivamente. Esta posible causa se debe de acuerdo a lo que manifiesta McHugh et al., que a medida que el espesor del film aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie interior de la película se incrementa; de ahí la importancia de regular el espesor de película (Anchundia, Santacruz y Coloma, 2016).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- El rendimiento total del almidón nativo de papa china (Colocasia esculenta) que se obtuvo a nivel de laboratorio por vía húmeda fue alrededor de 13,06% en base seca, siendo un valor inferior al compararlos con rendimientos consultados en la bibliografía, justificando que a pesar que se utilizó la metodología propuesta por Morales, 2012 el rendimiento no fue lo suficientemente satisfactorio y es posible mejorar dicho rendimiento con el uso de equipos de reducción de tamaño que logren una mayor separación de los gránulos de almidón.

- El almidón nativo de papa china caracterizado de acuerdo a las pruebas físicos-químicos y funcionales mostró particularidades muy próximas, a lo reportado en hojas técnicas y rangos similares encontrados en las diferentes fuentes bibliográficas consultadas siendo viable su estudio en otros campos aplicativos tanto a nivel industrial como en sistemas alimenticios.

- Utilizando el método de la función de conveniencia fue posible optimizar los resultados experimentales obtenidos a partir de los modelos matemáticos y un O-óptimo para la formulación de la obtención de recubrimientos comestibles, estos valores dieron como conveniente el tratamiento 8 con los siguientes resultados: temperatura de 55ºC ,2% de almidón nativo de papa china, 5 % de glicerina y 0,10 % de aceite de tomillo con un espesor de 0.10 mm.

RECOMENDACIONES

- Para elevar el rendimiento de extracción de almidón de las papas nativas y tener valores más competitivos se puede reemplazar las operaciones manuales realizadas en la extracción por un proceso semi-industrial, que puede incluir los equipos especializados que se utilizan en procesos automatizados a gran escala, como el uso de hidrociclones y secadores automatizados.

- Realizar modificaciones (físicas, químicas y enzimáticas) porque los almidones nativos no siempre presentan las mejores propiedades deseadas para ciertos tipos de aplicaciones.

- Evaluar microbiológicamente al almidón de papa china (aerobios mesófilos, escherichia coli, mohos y levaduras), de tal manera que cumpla con los rangos permitidos que reporta la FAO,2007 estipulado en su guía técnica de producción y análisis de almidón de yuca para evitar posibles contaminaciones en posteriores procesos.

- Continuar investigando para otras aplicaciones de valor agregado se le pueden dar a este tubérculo debido a que posee una composición nutricional muy rica en hidratos de carbono, proteínas y aminoácidos siendo factible la innovación de nuevos producto en el área alimenticia.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña. (2012). *Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados*. Facultad de Ciencias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Aldaz. (2011). *Elaboración de pan a partir de la mezcla de cinco niveles de harina de trigo (Triticum vulgare) y harina de papa china (Colocasia esculenta) para mejorar su valor nutricional, en la Universidad Estatal de Bolivar.* Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente. Guaranda: Universidad Estatal de Bolivar.

Anchundia, Santa Cruz y Coloma. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (Musa Paradisiaca). *Revista Chilena, 43*(4).

Arano et al. (2019). An efficient protocol for commercial micropropagation of malanga (Colocasia esculenta L. Schott) using temporary immersion. *Scientia Horticulturae*. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108998

Arevalo, Azucena y Lainez. (2018). *Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo(Sorghum bicolor (L.) Moench) y yuca (Manihot esculenta)*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador: Universidad de El Salvador.

Arguedas y Burga. (2008). *Caracterización del almidón de Colocasia esculenta L. Schott proveniente de los Departamentos de Cajamarca y San Martín.* Facultad de Farmacia y Bioquímica. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

Aristizábal y Sánchez. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.* Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma: FAO.

Buensuceso. (2010). *Elaboración y caracterización de biopelículas a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta Crantz)).* Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México: Instituto Politécnico Nacional.

Caicedo. (26 de Julio de 2018). Valoración nutritiva del ensilaje de tubérculos de papa china [Colocasia esculenta (L.) Schott] y su uso en la alimentación de cerdos en crecimiento ceba. (M. d.-U. Granma, Ed.) *ResearchGate*, 1-150.

Calle, Benavent y Rosell. (2020). Development of gluten free breads from Colocasia esculenta flour blended with hydrocolloids and enzymes. *Food Hydrocolloids, 98,105243*. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105243

Charro. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de Patata.* Facultad de Ingeniería Química. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Chiralt et al. (2020). Capítulo 6 - Uso de subproductos en recubrimientos comestibles y materiales de embalaje biodegradables para la conservación de alimentos. En *Sostenibilidad del sistema alimentario* (págs. 101-127). Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/C2018-0-03851-7

Crespo y Rivera. (2018). *Estudio del proceso de obtención de empaques biodegradables a partir del almidón de diferentes tubérculos: papa (Solanum tuberosum), yuca (Manihot esculenta),camote (Ipomoea batatas).* Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Quevedo: Universidad Tecnica Estatal de Quevedo.

Diaz. (2015). *Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecno-funcionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de solanum tuberosum ssp. andigenum (papa nativa).* Facultad de Ingeniería. PERÚ: Universidad Nacional Jose Maria Arguedas.

Dubey. (2020). Capítulo 27 - Películas y recubrimientos comestibles : una actualización de los avances recientes. En *Formulaciones basadas en biopolímeros* (págs. 675-695). Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00027-8

Fernández et al. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias [online], 24*(3), ISSN -1010-2760, RNPS-0111.

Garcia, Pinzon y Sánchez. (3 de noviembre de 2013). Extracción y Propiedades funcionales del almidón de yuca,manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech Ciencias y Tecnología Alimentaria, 11*(1), 13-21.

Gonzalez, Olguin, Loayza y Severich. (2014). *Almidón Nativo y Modificado. Obtención, cuantificación, modificación y usos.* Instituto de Investigación F.C.F.B, Facultad Ciencias Farmacéutica y Bioquímica. Santa Cruz de la Sierra – Bolivia: Universidad Autonoma Gabriel Rene Moreno.

Hernández. (2016). *Formulación y Caracterización de Películas Comestibles de Almidón de Papa Nativo y Modificado.* Escuela Nacional De Ciencias Biológicas y en el Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología (CNMN). México: Universidad Veracruzana.

Hernandez, Torruco, Guerrero y Betancur. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia Tecnologia Alimentos [online], 28*(3), 718-726.

Himeda et al. (22 de Febrero de 2012). Propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas del almidón de taro (Colocasia esculenta) cosechado en diferentes etapas de madurez. (I. 2.-6. (impresión), Ed.) *Revista Internacional de Biociencias (IJB), 2*(3), 14-27.

Jaurapoma. (2014). *Proyecto de Inversión para la elaboración de chifles hechos de pituca.* Facultad de Ingeniería Industrial. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de https://vdocuments.site/la-pituca.html

Lalaleo. (2017). *Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir harina y residuos de banano de rechazo.* Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.

Lamadrid et al. (enero-junio de 2009). Capacidad de adhesión y fermentación a gránulos de almidón de papa por bacterias ácido lácticas silvestres para evaluar su actividad como prebiótico. (U. L. Salle, Ed.) *Revista del Centro de Investigación, 8*(31), 5-21.

León. (2018). *Recubrimientos comestibles a base de almidón con potencial aplicación en conservación de frutas.* Especialización en procesos de alimentos y biomateriales. Colombia : Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Obtenido de https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21299/52975967_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lopez. (2012). *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón.* Departamento de Química. Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Lozada. (2005). *Producción del cultivo de papa china (Colocasia esculenta) utilizando dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica.* Facultad de Ciencias Agropecuarias . Sangolqui-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

Meaño et al. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de, 26*(2), 182-187.

Medina y Salas. (27 de mayo de 2008). Caracterización morfológica del gránulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. (U. d. Andes, Ed.) *Revista de Ingeniería*(2), 55-62.

Mendoza. (2012). *Caracterización de la soluciones formadoras de películas elaboradas con harinas y almidón de cebada.* Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos: Instituto Politécnico Nacional.

Mergedus et al. (2015). Variation of mineral composition in different parts of taro (Colocasia esculenta) corms. *Food Chemistry, 170*, 37-46. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.025

Miramont. (2012). *Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: Carvacrol y Sorbatos.* Escuela de Posgrado, Industrias de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Miranda, Marrugo y Montero. (2013). Caracterización Funcional del Almidón de Fríjol Zaragoza (Phaseolus Lunatus L.) y Cuantificación de su Almidón Resistente. *TecnoLógicas, 30*, 17-32.

Montalvan. (2013). *Proceso para la obtención de una pasta alimentaria tipo compota de alto nivel nutricional a partir de la Colocasia Esculenta.* Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil.

Morales. (2012). Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca (Colocasia esculenta). (P. U.-D. Humanidades, Ed.) *Espacio Y Desarrollo*(24), 97-117.

Nehirm y Simsek. (2012). Production of resistant starch from taro (Colocasia esculenta L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. *Carbohydrate Polymers, 90*(3), 1204-1209. doi:https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.039

Obregón y Estrella. (2014). *Efecto de la modificacion quimica del almidon nativo de papa (Solanum tuberosum), sobre sus características fisicoquímicas y*

reológicas. Facultad de Ciencias Aplicadas. Tarma -Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Oñate. (2018). *Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (Fragaria x ananassa Duchesne) en base a almidón de papa china (Colocasia esculenta Schott) de la variedad blanca.* Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Ordóñez et al. (2014). Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (Capsicum annuum). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5*(5), 795-805.

Oropeza, Montes y Padrón. (29 de Octubre de 2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. (A. RVCTA, Ed.) *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 7 (1): 065-093.*, *7*(1), 1-29. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5485/1/UNACH-EC-ING.AGRO-IND-2019-0004.pdf

Parzanese. (2009). *Películas y recubrimientos comestibles.* Tecnologías para la Industria Alimentaria.

Pelissari et al. (2019). CHAPTER 10- Starch-Based Edible Films and Coatings: An Eco-friendly Alternative for Food Packaging. En P. y. Schiele, *Aplicación de almidones para alimentos. Propiedades químicas, tecnológicas y de salud* (págs. 359 - 420). Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00010-1

Perez. (2017). *Creación de una Empresa productora de semielaborados derivados de la papa china,en la Provincia de Pastaza, Ciudad de Puyo.* Facultad de Ciencias Administrativas. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.

Quiñonez. (2013). *Extraccion y caracterizacion del almidon de platano de seda(Musa acuminata) y plátano de enano(Musa cavendishii).* Facultad de Ciencias Agrarias. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Rios. (2014). *Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de de dos especies de Malanga (Colocasia*

Antiquorum y Colocasia Esculenta) Cultivadas en el estado de Oaxaca. Huajuapan de León, Oaxaca, México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Rodriguez. (2017). *Diseño de un plan estratégico para mejorar la comercialización de papa china en el sector norte de la Ciudad de Guayaquil.* Facultad de Ciencias Administrativas. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Romero. (2018). *Análisis Nutricional Comparativo entre snacks de Malanga (Xanthosoma sagittifolium) y Papa China (Colocasia esculenta) mediante la fritura convencional.* Facultad de Ingeniería. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

Sahraee et al. (2019). Protection of foods against oxidative deterioration using edible films and coatings: A review. *Food Bioscience, 32*. doi:https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100451

Sanjib. (2019). Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *Módulo de referencia en ciencia de materiales e ingeniería de materiales -Enciclopedia de materiales renovables y sostenibles, 5*, 363-376.

Songor. (2019). *Extracción y uso de almidón de papa china (Colocasia Esculenta) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados.* Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Suja et al. (2017). Yield, quality and soil health under organic vs conventional farming in taro. *Scientia Horticulturae, 2018*, 334-343. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.006

Trujillo. (2015). *Sustitución parcial de harina de trigo(Triticum aestivum L) por harina de papa china(Colocasia esculenta) para la elaboración de galletas de dulce.* Unidad Academica de Ciencias Químicas y de la Salud. Machala: Universidad Tecnica de Machala.

Vanzela et al. (2013). Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin. *LWT - Food Science and Technology, 50*(2), 420-425. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.003

Vargas y Hernández. (2012). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha, 26*(1), 37-45.

Zúñiga. (2019). *Extracción y análisis comparativo de las características del almidón de malanga (Xanthosoma Saggitifolium), yuca (Manihot Esculenta) y papa china (Colocasia Esculenta)".* Facultad de Ingeniería. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

ANEXOS

Anexo 1. Extracción del almidón de papa china (Colocasia esculenta).

Recepción y Selección

Pesado y lavado

Pelado

Troceado en cubos de 2cm, con solución de agua tratada + ácido ascórbico al 2% m/v

Triturado

Lavado y filtrado del almidón

Decantado

Sedimento

Secado

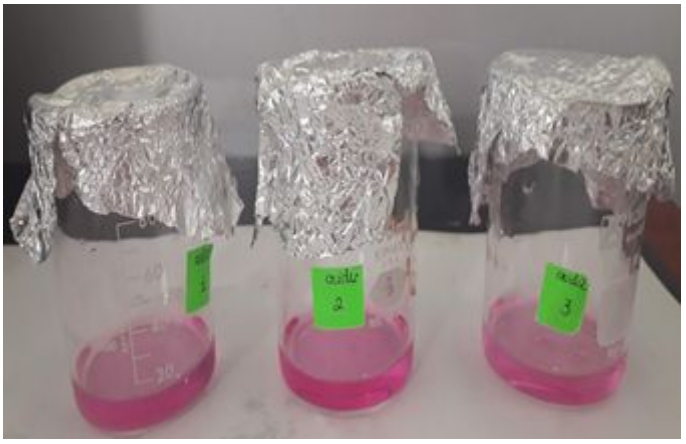
Triturado

Tamizado

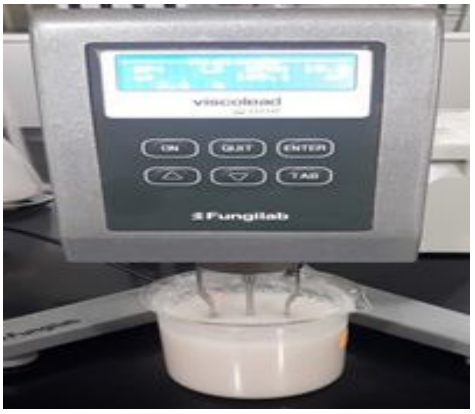
Almidón de papa china

Anexo 2. Análisis fisicoquímicas y funcionales del almidón.

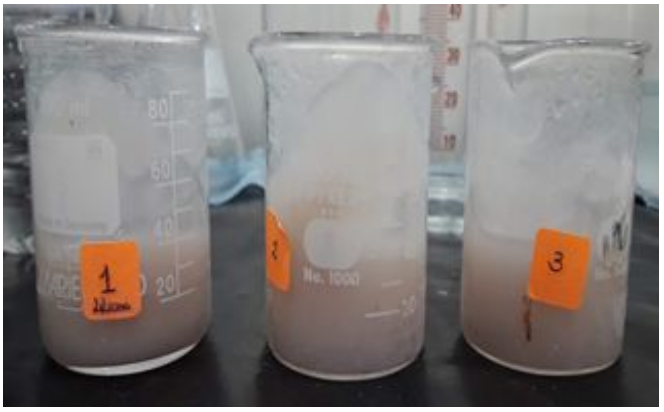
Determinación de pH



Determinación de Acidez

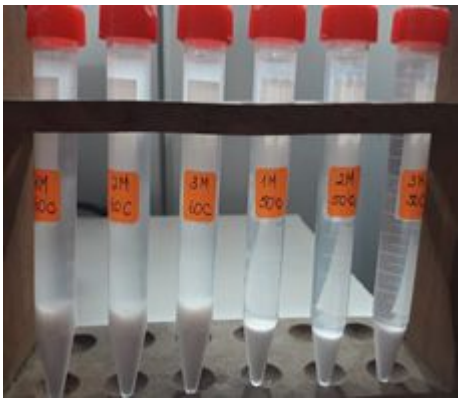


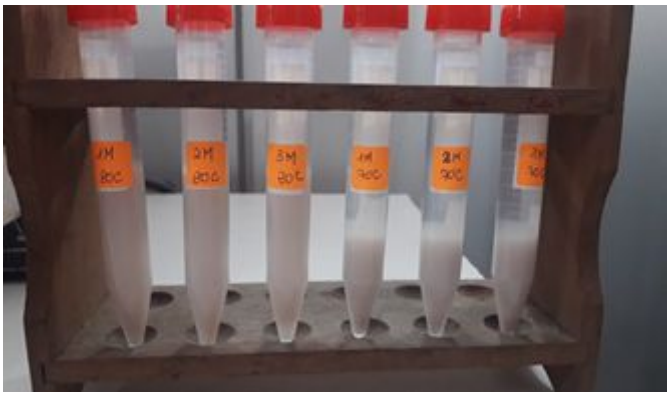
Determinación de Viscosidad

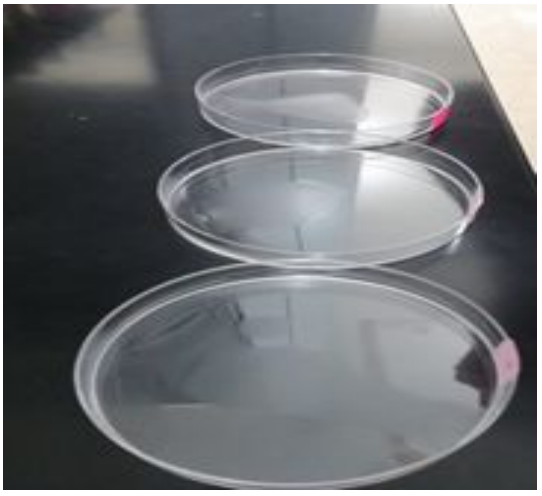


Temperatura de Gelatinización

Determinación de Humedad





Determinación de la Capacidad de Retención de Agua, Solubilidad y Poder de Hinchamiento.

Anexo 3. Recubrimiento comestible a base de almidón, glicerina y aceite de tomillo