



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (*manihot esculenta*) Y PAPA YANA SHUNGO (*solanum andígena*) PARA EL USO EN ALIMENTOS

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: JONATHAN AQUILES TÚQUERRES MENDOZA

DIRECTORA: Ing. Linda Flores

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jonathan Aquiles Túquerres Mendoza


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

Yo, Jonathan Aquiles Túquerres Mendoza, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 24 de abril de 2021

Jonathan
Aquiles
Túquerres
Mendoza



Firmado digitalmente
por Jonathan Aquiles
Túquerres Mendoza
Fecha: 2021.10.26
12:24:39 -05'00'




Jonathan Aquiles Túquerres Mendoza
1311967226

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Investigativo, **OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (*manihot esculenta*) Y PAPA YANA SHUNGO (*solanum andígena*) PARA EL USO EN ALIMENTOS**, realizado por el señor: **JONATHAN AQUILES TÚQUERRES MENDOZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Darío Guamán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DARIO FERNANDO GUAMAN LOZADA	2021-09-17
Ing. Linda Flores DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS  Firmado digitalmente por LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS DN: cn=LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS, o=SECURITY DATA S.A., 1=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION Móvil:011 444 444 444 Ubicación: Fecha:2021.10.26 17:10:05:00	2021-09-17
Ing. Hugo Calderón MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON	2021-09-17

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico en primer lugar a Dios, por darme fuerza a través de su palabra, en aquellos momentos de debilidad emocional y mental.

A Elías y Jenny, mis padres, por ser pilar fundamental y apoyo incondicional de todas las formas posibles; a mis hermanas Arelis y Eliana, por darme aliento a la distancia y enseñarme a valorar aquellos momentos de infancia.

Aquiles

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por su basta paciencia y fidelidad en todo momento de mi vida, por nunca soltar mi mano cuando estaba perdido.

A mis padres Elías y Jenny quienes me apoyaron en todo momento sin dudar, esforzándose para que yo tenga un futuro mejor, enseñándome sobre bondad, humildad y respeto hacia los demás. A mis hermanas Arelis y Eliana por ser mi apoyo moral e inspiración para ser un hombre de bien, demostrándoles que siempre se puede progresar.

A mis abuelos Ernesto, María Conchita, María Nimia y Luis Antonio quienes siempre estuvieron orgullosos en cada paso que daba, confiando en mí y que me impulsaron a ser un profesional. A mis tíos y primos que siempre me daban palabra de aliento.

A Estefanía por ayudarme a crecer como ser humano e hijo de Dios y ser un apoyo invaluable en todo momento.

A mis amigos Stalyn, Edwin, Bryan, Andrea y Kelly por estar conmigo en momentos buenos y malos, en especial a Jinson por enseñarme que se debe sacar el máximo provecho a la vida, disfrutándola.

A mis docentes Linda y Hugo por estar al tanto de mi formación profesional en el presente proyecto investigativo. Del mismo modo agradeciendo a los ingenieros Paúl, Marco, Yolanda y Carlita quienes me ayudaron a formarme como profesional y como persona, demostrándome un sincero gesto de amistad.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias y a la Escuela de Ingeniería Química por incentivar me a crecer como profesional.

Aquiles

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO	3
1.1	Antecedentes de la Investigación	3
1.2	Marco Conceptual o Glosario	4
1.2.1	<i>Yuca</i>	4
<i>1.2.1.1</i>	<i>Taxonomía.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.2</i>	<i>Condiciones edafoclimáticas</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.3</i>	<i>Yuca amarilla.....</i>	<i>5</i>
1.2.2	<i>Papa</i>	6
<i>1.2.2.1</i>	<i>Taxonomía.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2.2</i>	<i>Condiciones edafoclimáticas</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2.3</i>	<i>Papa Yana Shungo</i>	<i>7</i>
1.2.3	<i>Plásticos</i>	8
<i>1.2.3.1</i>	<i>No biodegradables</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3.2</i>	<i>Biodegradables</i>	<i>8</i>
1.2.4	<i>Almidón</i>	9
<i>1.2.4.1</i>	<i>Almidón de yuca.....</i>	<i>9</i>

1.2.4.2	<i>Almidón de papa</i>	9
1.2.4.3	<i>Amilosa</i>	9
1.2.4.4	<i>Amilopectina</i>	10
1.2.4.5	<i>Propiedades del almidón</i>	10
1.2.5	<i>Almidón modificado</i>	11
1.2.5.1	<i>Modificación física</i>	12
1.2.5.2	<i>Modificación enzimática</i>	12
1.2.5.3	<i>Modificación química</i>	12

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	14
2.1	Hipótesis General	14
2.2	Hipótesis Específicas	14
2.3	Identificación de Variables	14
2.4	Operacionalización de Variables	15
2.5	Matriz de Consistencia	16
2.6	Tipo y Diseño de Investigación	18
2.6.1	<i>Tipo de investigación</i>	18
2.6.2	<i>Diseño de investigación</i>	18
2.6.2.1	<i>Diseño factorial 2k para obtención de almidón</i>	18
2.6.2.2	<i>Diseño factorial 2k para obtención bioplástico</i>	19
2.7	Unidad de Análisis	23
2.8	Población de Estudio	23
2.9	Tamaño de Muestra	23
2.10	Selección de muestra	23
2.11	Técnicas de Recolección de Datos	23
2.11.1	<i>Almidón</i>	23
2.11.1.1	<i>Extracción de almidón</i>	23
2.11.1.2	<i>Humedad</i>	24

2.11.1.3	<i>Ceniza</i>	24
2.11.1.4	<i>Proteína</i>	25
2.11.1.5	<i>Grasa y fibra</i>	25
2.11.1.6	<i>Distribución del tamaño del gránulo</i>	25
2.11.1.7	<i>Viscosidad Brookfield</i>	25
2.11.1.8	<i>Temperatura de gelatinización</i>	25
2.11.1.9	<i>Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua</i>	26
2.11.1.10	<i>pH</i>	26
2.11.1.11	<i>Amilosa y amilopectina</i>	27
2.11.2	<i>Acetilación almidón</i>	27
2.11.2.1	<i>Determinación grado de sustitución</i>	28
2.11.3	<i>Bioplásticos</i>	29
2.11.3.1	<i>Formulación biopelícula</i>	29
2.11.3.2	<i>Caracterización biopelícula</i>	29

CAPÍTULO III

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	32
3.1	OBTENCIÓN ALMIDÓN NATIVO	32
3.1.1	<i>Almidón nativo de Yuca Amarilla</i>	32
3.1.2	<i>Almidón nativo de Papa Yana Shungo</i>	39
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN	45
3.2.1	<i>Caracterización del almidón nativo y modificado de Yuca Amarilla</i>	45
3.2.1.1	<i>Humedad</i>	45
3.2.1.2	<i>Ceniza</i>	46
3.2.1.3	<i>pH</i>	47
3.2.1.4	<i>Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua</i>	47
3.2.1.5	<i>Proteína</i>	48
3.2.1.6	<i>Grasa y fibra</i>	48

3.2.1.7	<i>Viscosidad</i>	49
3.2.1.8	<i>Temperatura de gelatinización</i>	50
3.2.1.9	<i>Amilosa y amilopectina</i>	51
3.2.1.10	<i>Microbiológico</i>	51
3.2.2	<i>Caracterización del almidón nativo y modificado de Papa Yana Shungo</i>	52
3.2.2.1	<i>Humedad</i>	52
3.2.2.2	<i>Ceniza</i>	53
3.2.2.3	<i>pH</i>	53
3.2.2.4	<i>Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua</i>	54
3.2.2.5	<i>Proteína</i>	55
3.2.2.6	<i>Grasa y fibra</i>	55
3.2.2.7	<i>Viscosidad</i>	56
3.2.2.8	<i>Temperatura de gelatinización</i>	57
3.2.2.9	<i>Amilosa y amilopectina</i>	57
3.2.2.10	<i>Microbiológico</i>	58
3.3	MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN POR ACETILACIÓN	59
3.3.1	<i>Acetilación</i>	59
3.3.2	<i>Verificación de la acetilación</i>	59
3.3.2.1	<i>Determinación del grado de sustitución</i>	59
3.3.2.2	<i>Determinación de acetilación por espectroscopía de infrarrojo</i>	61
3.4	OBTENCIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES	63
3.4.1	<i>Ensayos mecánicos</i>	65
3.4.2	<i>Solubilidad</i>	66
3.4.3	<i>Permeabilidad</i>	66
3.4.4	<i>Degradabilidad</i>	66
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Datos de cultivo anual de yuca en Ecuador	5
Tabla 2-1:	Taxonomía de la yuca	5
Tabla 3-1:	Datos de cultivo anual de papa en Ecuador	7
Tabla 4-1:	Taxonomía de la papa	7
Tabla 5-2:	Identificación de variables de proceso	14
Tabla 6-2:	Operacionalización de las variables que intervienen en la extracción del almidón, acetilación, elaboración de bioplástico	15
Tabla 7-2:	Matriz de consistencia.....	16
Tabla 8-2:	Variables para obtención almidón.....	18
Tabla 9-2:	Diseño experimental para la extracción de almidón de Yuca Amarilla y Papa Yana Shungo	19
Tabla 10-2:	Variables para obtención bioplástico	20
Tabla 11-2:	Tratamientos para la obtención de bioplásticos	20
Tabla 12-2:	Porcentaje de mezcla entre los almidones obtenidos	29
Tabla 13-2:	Formulaciones para cada denominación	29
Tabla 14-3:	Análisis organoléptico de 5 muestras de Yuca Amarilla	32
Tabla 15-3:	Peso, longitud y diámetro promedio de 5 muestras de Yuca amarilla	32
Tabla 16-3:	Rendimiento de almidón de Yuca Amarilla.....	33
Tabla 17-3:	Datos de rendimientos de almidón de Yuca Amarilla necesarios para análisis ANOVA	33
Tabla 18-3:	Análisis de varianza de almidón de Yuca Amarilla de dos factores con varias muestras por grupo.....	34
Tabla 19-3:	Análisis de varianza de rendimientos de almidón de Yuca Amarilla	34
Tabla 20-3:	Comparación entre tratamientos de obtención de almidón de Yuca Amarilla mediante prueba Tukey	35
Tabla 21-3:	Resultado global de obtención de almidón de Yuca Amarilla	37
Tabla 22-3:	Análisis organoléptico de 5 muestras de Papa Yana Shungo	39
Tabla 23-3:	Peso, longitud y diámetro promedio de 5 muestras de Papa Yana Shungo	39

Tabla 24-3:	Rendimiento de almidón de Papa Yana Shungo.....	40
Tabla 25-3:	Datos de rendimiento de almidón de Papa Yana Shungo necesarios para análisis ANOVA.....	40
Tabla 26-3:	Análisis de varianza de almidón de Papa Yana Shungo de dos factores con varias muestras por grupo.....	41
Tabla 27-3:	Análisis de varianza de Papa Yana Shungo.....	41
Tabla 28-3:	Comparación entre tratamientos de obtención de almidón de Papa Yana Shungo mediante prueba Tukey.....	42
Tabla 29-3:	Resultados de obtención de almidón de Papa Yana Shungo.....	44
Tabla 30-3:	Porcentajes de humedad de yuca de diversos autores.....	45
Tabla 31-3:	Porcentajes de ceniza de yuca de diversos autores.....	46
Tabla 32-3:	Resultados de índice de solubilidad, poder de hinchamiento e índice de absorción de agua de almidón de Yuca Amarilla.....	47
Tabla 33-3:	Contenido y relación amilosa/amilopectina de almidón nativo de Yuca Amarilla..	51
Tabla 34-3:	Porcentajes de humedad de papa de diversos autores.....	52
Tabla 35-3:	Porcentajes de ceniza de papa de diversos autores.....	53
Tabla 36-3:	Resultados de índice de solubilidad, poder de hinchamiento e índice de absorción de agua de almidón de Papa Yana Shungo.....	54
Tabla 37-3:	Contenido y relación amilosa/amilopectina de almidón nativo de Papa Yana Shungo.....	58
Tabla 38-3:	Condiciones para acetilación de almidón nativo.....	59
Tabla 39-3:	Abreviaturas para muestras de Almidón nativo y Acetilado.....	59
Tabla 40-3:	Contenido de % Acetilos y Grado de sustitución de almidones nativos y modificados.....	60
Tabla 41-3:	Transmitancia vs. Número de onda de muestra de almidón nativo.....	62
Tabla 42-3:	Número de onda vs. %Transmitancia de muestra de almidón modificado por acetilación.....	62
Tabla 43-3:	Características de biopelículas obtenidas.....	63
Tabla 44-3:	Transparencia de los diferentes tratamientos de las películas biodegradables.....	64
Tabla 45-3:	Resultados de Tensión y % Elongación.....	65

Tabla 46-3: Degradabilidad en tierra.....	67
Tabla 47-3: Degradabilidad en agua	67
Tabla 48-3: Resultados prueba degradabilidad en tierra	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Raíz cosechada.....	6
Figura 2-1.	Aspecto interno yuca amarilla	6
Figura 3-1.	Aspecto Papa Yana Shungo	8
Figura 4-1.	Estructura amilosa.....	10
Figura 5-1.	Estructura amilopectina	10
Figura 6-1.	Acetilación del almidón.....	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2.	Obtención almidón.....	21
Gráfico 2-2.	Proceso acetilación.....	22
Gráfico 3-3.	Cajas y Bigotes del rendimiento de extracción de almidón nativo de Yuca Amarilla	36
Gráfico 4-3.	Dispersión del rendimiento de extracción de almidón nativo de Yuca Amarilla	37
Gráfico 5-3.	Cajas y Bigotes del rendimiento de extracción de almidón nativo de Papa Yana Shungo	43
Gráfico 6-3.	Dispersión del rendimiento de extracción de almidón nativo de Papa Yana Shungo	43
Gráfico 7-3.	Espectroscopía Infrarrojo del almidón Nativo	61
Gráfico 8-3.	Espectroscopía Infrarrojo del almidón Acetilado	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2.	Determinación de humedad	24
Ecuación 2-2.	Determinación de ceniza.....	24
Ecuación 3-2.	Determinación de Índice de Absorción de Agua	26
Ecuación 4-2.	Determinación de Índice de Solubilidad en el Agua	26
Ecuación 5-2.	Determinación de Poder de Hinchamiento	26
Ecuación 6-2.	Contenido Amilosa	27
Ecuación 7-2.	Contenido Amilopectina.....	27
Ecuación 8-2.	Determinación %acetil.....	28
Ecuación 9-2.	Determinación grado de sustitución	28
Ecuación 10-2:	Determinación solubilidad de las películas	30
Ecuación 11-2:	Velocidad de transmisión de vapor de agua	30
Ecuación 12-2:	Permeabilidad al vapor de agua.....	30
Ecuación 13-2:	Porcentaje de degradabilidad biopelícula	31
Ecuación 14-3:	Diferencia Honestamente Significativa	35

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Proceso de extracción de almidón
- ANEXO B.** Almidón seco
- ANEXO C.** Proceso para acetilación almidón
- ANEXO D.** Análisis proximal de almidón nativo y acetilado
- ANEXO E.** Muestras para análisis de amilosa
- ANEXO F.** Análisis microbiológico para coliformes totales de almidón acetilado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*)
- ANEXO G.** Análisis microbiológico para coliformes totales de almidón acetilado de Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*)
- ANEXO H.** Análisis microbiológicos para mohos y levaduras de almidón acetilado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*)
- ANEXO I.** Películas biodegradables
- ANEXO J.** Análisis ANOVA de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para determinar si existen diferencias significativas en el espesor de las películas
- ANEXO K.** Ensayos mecánicos
- ANEXO L.** Resultados ensayos mecánicos
- ANEXO M.** Permeabilidad al vapor

RESUMEN

En el presente estudio se obtuvo una película biodegradable a partir de almidón modificado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) a través de un proceso de acetilación para su uso como empaques de alimentos. En primera instancia se realizó un diseño experimental factorial 2^2 con la ayuda del software Statgraphics Centurion XVI y se identificó, mediante análisis estadístico, el mejor tratamiento para extraer almidón de la raíz y del tubérculo. Seguido a ello se realizó la acetilación al almidón nativo con Anhídrido Acético y se verificó grupos acetilo en el almidón modificado; del mismo modo se efectuó el análisis bromatológico y microbiológico de las muestras de almidón de ambas fuentes según la NTE INEN correspondiente. Después de ello, y utilizando el mismo software y diseño experimental, se elaboró películas biodegradables a partir de agua, glicerina y almidón modificado en diferentes proporciones, y se culminó con una selección de la mejor película biodegradable mediante análisis sensorial. El mejor rendimiento que se obtuvo para la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) fue de 24,59% con el tratamiento 1, mientras que para la Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) fue el T4 con un rendimiento de 8,66%. En la acetilación se obtuvo un mayor grado de sustitución en el tubérculo con 0,554 mientras que para la raíz 0,201. Para el caso del análisis bromatológico y microbiológico del almidón nativo y modificado estuvieron en tu mayoría acorde a la NTE INEN 2051:1995; mientras que en la selección de la mejor película biodegradable se optó por la A3 (70% AAcYA, 30% AAcPYSh) - T3 (1,25g glicerina, 2g almidón) elegida mediante análisis sensorial a la cual se le aplicó satisfactoriamente ensayos mecánicos y de degradabilidad. Se concluye con esto que sí es posible formular películas degradables con aceptable relación entre elongación y tensión, que se degradan y que poseen baja permeabilidad al vapor del agua. Se recomienda realizar un análisis más profundo a la vida útil de un alimento recubierto con la formulación seleccionada para la elaborar la película.

Palabras clave: <BIODEGRADABLE>, <ACETILACIÓN>, <YUCA AMARILLA (*Manihot Esculenta*)>, <PAPA YANA SHUNGO (*Solanum Andígena*)>, <ALMIDÓN MODIFICADO>



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



06-07-2021

1305-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

In the present study, a biodegradable film was obtained from modified starch of Yellow Yucca (*Manihot Esculenta*) and Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) through an acetylation process for use as food packaging. In the first instance, a factorial experimental design 22 was carried out with the help of the Statgraphics Centurion XVI software and the best treatment to extract starch from the root and tuber was identified through statistical analysis. Following this, the acetylation to the native starch was carried out with Acetic Anhydride and acetyl groups were verified in the modified starch; in the same way, the bromatological and microbiological analysis of the starch samples from both sources was carried out according to the corresponding NTE INEN. After that, and using the same software and experimental design, biodegradable films were made from water, glycerin and modified starch in different proportions, and culminated with a selection of the best biodegradable film by sensory analysis. The best yield obtained for Yellow Yucca (*Manihot Esculenta*) was 24.59% with treatment 1, while for Potato Yana Shungo (*Solanum Andígena*) it was T4 with a yield of 8.66%. In acetylation a greater degree of substitution was obtained in the tuber with 0.554 while for the root 0.201. In the case of the bromatological and microbiological analysis of the native and modified starch, they were mostly in accordance with the NTE INEN 2051: 1995; While in the selection of the best biodegradable film, we chose A3 (70% AAcYA, 30% AAcPYSh) - T3 (1.25g glycerin, 2g starch) chosen by sensory analysis to which mechanical and mechanical tests were successfully applied. degradability. It is concluded with this that it is possible to formulate degradable films with an acceptable relationship between elongation and tension, which degrade and have low permeability to water vapor. It is recommended to carry out a more in-depth analysis of the shelf life of a food coated with the formulation selected to make the film.

Keywords: <BIODEGRADABLE>, <ACETYLATION>, <YELLOW YUCCA (*Manihot Esculenta*)>, <PAPA YANA SHUNGO (*Solanum Andígena*)>, <MODIFIED STARCH>

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

El material inventado hace aproximadamente 150 años supuso una revolución por su resistencia, ligereza y bajo costo. El plástico forma parte de nuestras vidas más de lo que podríamos creer, su uso está en: materiales de construcción, vehículos, telefonía, ropa, utensilios de cocina, embalaje de alimentos y más (Libera, 2019, p.4). Su demanda mundial ha aumentado a tal punto de ser el principal producto derivado de la petroquímica; todo ello también conlleva a tener un efecto adverso: acumulación de residuos sólidos por su baja capacidad de degradación (Niño et al. 2018, p.2)

El uso de este material ha facilitado la vida de la humanidad salvo por una situación: la contaminación. El mal manejo de residuos y la poca conciencia ambiental de las personas, han llevado a que estos materiales se conviertan en un problema. El plástico no se degrada a diferencia de, por ejemplo, el látex de origen natural; este polímero sintético se mantiene intacto por lo menos por seis mil años; las bacterias encargadas de la degradación de material orgánico no conocen este material, por lo que les resulta imposible realizar el proceso de degradación del mismo (Perdomo, 2002, p.5).

A pesar de que existen iniciativas para el reciclaje de estos materiales, en muchas comunidades e incluso ciudades grandes no existe una educación ambiental satisfactoria para que todos puedan separar residuos orgánicos e inorgánicos.

Aun sabiendo que los bioplásticos no tienen las mismas características que los plásticos convencionales, se ha encontrado un uso un poco más específico en la industria del embalaje de alimentos. Dichos plásticos biodegradables además de tener un tiempo de degradación promedio de 60 días (Ruiz et al., 2009, p.77), aportan a la sociedad en la ampliación de materia prima, negocios, posible reducción de los fósiles de carbón o uso de procesos de tecnologías diferentes e incluso nuevos potenciales para la industria de la agricultura (Interempresas, 2008)

Justificación de la Investigación

El avance de la ciencia y, lamentablemente la contaminación, ha llevado a la humanidad a buscar nuevos métodos para la elaboración de materiales biodegradables utilizando lo que la naturaleza nos brinda. El uso alternativo de compuestos renovables ha ido tomando fuerza, debido a que estos regresan al ambiente.

El almidón es un polisacárido de reserva de las plantas formado por amilosa y amilopectina, las cuales confieren ciertas características al bioplástico, pues la capacidad que tienen los gránulos del almidón para absorber agua es determinante para el proceso de biodegradación, facilitando la acción de las enzimas para convertir en fragmentos más pequeños la biopelícula permitiendo que

sean asimilables para los microorganismos presentes en el medio (Ruiz et al., 2009, p.72). Ahora bien, el almidón de tubérculos y raíces (papa y yuca respectivamente), de bajo costo y biodegradable, es el material ideal para la creación de biopelículas para uso en diferentes sectores.

Un biopolímero común carece de ciertas características indispensables para el uso en la industria. El alteración de las propiedades mecánicas a condiciones ambientales debido a la exposición con la humedad, el reducido nivel de procesamiento debido a su alta viscosidad, así como su poca compatibilidad con algunos solventes y polímeros son algunas de las características poco favorables de un biopolímero sin modificación (Peñaranda et al., 2008, p.48).

Es por ello que la modificación química del biopolímero es una propuesta innovadora, pues con la esterificación del almidón se obtiene una buena capacidad espesante, estables en frío, buenas propiedades de retención de agua a baja temperatura haciéndolos útiles en el campo de productos congelados. Esta modificación confiere a los almidones propiedades fisicoquímicas y mecánicas ideales para varios sectores de la industria, en especial para el embalaje de alimentos (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.44).

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Obtener una película biodegradable a partir de almidón modificado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) para el uso en alimentos.

Objetivos Específicos

- Obtener almidón de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*).
- Emplear el método de esterificación por acetilación en el almidón.
- Realizar la caracterización del almidón de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) a través de métodos químicos y físicos.
- Realizar formulaciones para la obtención de una biopelícula a base de almidón con sus respectivas pruebas mecánicas.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

El área de investigación en temas ambientales está tomando mayor fuerza cada vez, esto debido a que por muchos años los plásticos han sido utilizados y desechados al medio ambiente sin ningún tipo de conciencia. Está de más decir que una alternativa amigable con el medio ambiente es el uso de materia prima biodegradable.

Es así que el almidón, al ser el polímero natural más importante que existe, tiene componentes que otorgan características útiles para el proceso de elaboración de una biopelícula. Está compuesto básicamente por amilosa y amilopectina cuya composición es de 20% de amilosa y 80% de amilopectina aproximadamente.

Para la obtención de dicho almidón otros autores (Rodríguez et al., 2005; citado en Torrenegra et al., 2016) mencionan que se requiere que se inicie con un lavado para eliminar impurezas de la corteza, seguido de retirar la corteza para lavar nuevamente y cortar en trozos para licuar con agua destilada y conseguir así una lechada que se filtra a través de una tela. Luego dicho filtrado dejan en reposo, decantan y eliminan el sobrenadante para que el sedimento obtenido pueda ser lavado con agua destilada y filtrado al vacío, para finalmente secar a 60°C durante 12 horas y moler el almidón obtenido. Todo ello con la finalidad de extraer la mayor cantidad de almidón de ñame, yuca y batata.

Del mismo modo, Trujillo (2014, p.54), menciona que primero se debe acondicionar la yuca para luego rallar y lavar obteniendo así una lechada de almidón que se deja reposar durante 5 horas. Seguido a ello se pasa por un filtro para retener impurezas y separar el almidón del agua por sedimentación para finalmente secar a 45°C en la estufa durante 24h y moler el producto obtenido. La funcionalidad y propiedades del almidón, tales como la resistencia mecánica y la flexibilidad, están relacionadas con el naturaleza de la región cristalina, dependiendo de la relación que exista entre amilosa y amilo-pectina, del grado de ramificación y la distribución del peso molecular del mismo (Reis y Cunha, 2005; citado en Peñaranda et al. 2008, p.47).

Niño et al. (2018, p.458) en su investigación “Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación” mencionan el principal inconveniente en la elaboración de películas de almidón es la elevada hidrofiliidad, es por ello que se utilizan métodos que modifiquen químicamente el polímero. En este caso usan la esterificación que, además, permite la optimización de las propiedades mecánicas del biopolímero.

Los autores del artículo “Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos” afirman que existen 5 tipos de almidones resistentes, donde el almidón Tipo 4 (AR4) es aquel que es modificado químicamente, donde se forman nuevos enlaces químicos mediante procesos de

esterificación, reticulación o transglicosilación y no pueden descomponerse, debido a que el proceso de modificación hace que dicha estructura no sea accesible a la digestión por amilasas. Este tipo de almidón se usa como aditivo en varios productos alimentarios (Villaruel et al., 2018, p.272).

La esterificación, y para ser específicos la acetilación del almidón, es una de las modificaciones químicas más utilizadas. Al incorporar grupos éster a la molécula de almidón, esta alcanza nuevas propiedades, relacionadas con el grado de sustitución (GS) logrado (Foresti et al., 2014, p.70).

Cuando se obtienen grados de sustitución bajos los almidones modificados se utilizan como espesantes, mejorando la estabilidad y claridad de las pastas a bajas temperaturas, protegiendo así las fibras con respecto a la abrasión y el desgaste del hilado. Para el caso de que existan altos grados de sustitución en los almidones, estos se pueden utilizar en recubrimientos, producción de películas y adhesivos (Myllymäki y Aksela, 2005; citado de Peñaranda et al. 2008, p.50).

Otro autor en su proyecto integral de grado “Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa” afirma que existen dos tipos de acetilación: (GS) baja o (GH) alta. La baja (GS) tiene lugar en la industria alimentaria debido a que brinda consistencia, textura y durabilidad; y la alta (GH) se usa como sustituyente termoplásticos (Florez, 2016; citado de Holguin, 2019, p.41). Es decir que para el uso en la industria de alimentos, específicamente para embalaje, se debe obtener un almidón con alto grado de sustitución para obtener mayor estabilidad en el almidón al variar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Arenas y Pedraza, 2017, pp. 37-38).

1.2 Marco Conceptual o Glosario

1.2.1 Yuca

Su origen se encuentra en el trópico americano y su área de distribución se extiende desde Arizona, en Estados Unidos, hasta la cuenca del Plata en Argentina. A pesar de ello, en la parte norte de Brasil es donde se encuentran especies más afines, hablando en taxonomía, a *M. esculenta* (Aguilar, 2017, p.9). La parte comestible de esta planta es la raíz, en donde se almacenan gran cantidad de componentes, entre ellos el almidón. La cáscara es leñosa e incomedible, mientras que la pulpa es, dependiendo del tipo, de color blanquecino, ligeramente rosada o amarillo; también posee fibras longitudinales rígidas (Ceballos y De la Cruz, 2002; citado en Trujillo, 2014, p.4). Con respecto a las zonas de cultivo, es por parte de pequeños agricultores en su mayoría, se produce en la costa occidental, amazonía oriental y valles interandinos (Pérez y Rodríguez, 2018, p.192). En relación a la producción anual, en el 2018 se obtuvo mayor rendimiento en la cantidad cosechada a comparación del año 2019, al comparar el área cosechada y las toneladas obtenidas; estos datos se muestran en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Datos de cultivo anual de yuca en Ecuador

Parámetro	Año	Unidad	Cantidad
Área cosechada	2018	Hectáreas	12756
	2019		13601
Cantidad de producción	2018	Toneladas	76892
	2019		69863

Fuente: FAOSTAT, 2019

Realizado por: Túquerres, A. 2020

1.2.1.1 Taxonomía

Es una planta perenne y leñosa de la familia de las *Euphorbiaceae*, del género *Manihot*. El nombre científico de la yuca fue dado por Crantz, en 1766. Tiempo después la yuca fue clasificada entre yuca amarga *M. utilissima* o dulce *M. aipi*. Sin embargo, el italiano Ciferri (1938) reconoció que se debía dar prioridad al trabajo de Crantz para el nombre científico de la yuca, en el que se propone su nombre actual *M. esculenta* (Ospina y Ceballos, 2002, pp.16-17). En la Tabla 2-1 se muestran más características sobre la taxonomía de la yuca.

Tabla 2-1: Taxonomía de la yuca

No.	CARACTERÍSTICAS	
1	REINO	Plantae
2	DIVISIÓN	Spermatophyta
3	CLASE	Dicotiledoneae
4	ORDEN	Euphorbiales
5	FAMILIA	Euphorbiaceae
6	GÉNERO	<i>Manihot</i>
7	ESPECIE	<i>Manihot Esculenta</i>

Fuente: Pérez y Rodríguez, 2018, p.194

Realizado por: Túquerres, A. 2020

1.2.1.2 Condiciones edafoclimáticas

La yuca se desarrolla, dependiendo de la zona geográfica, con precipitaciones desde 750 hasta 3000 mm, e incluso más. La temperatura del cultivo va desde 25 a 27°C con una máxima de 30°C y una mínima de 17°C, con fotoperiodo de 10 a 12 horas luz y de preferencia suelos francos con buen drenaje y pH de 5.5 a 7.5 (Hinostrza et al., 2014b, p.5).

1.2.1.3 Yuca amarilla

Tradicionalmente los genotipos de yuca se han dividido por el color de sus raíces en tres grupos; uno de ellos está conformado por materiales que presentan tallos de colores claros u oscuros, haciendo distinción de otros grupos por el color de pulpa, el que puede ser amarillo, crema o blanco cremoso (Hinostrza et al., 2014b, p.6).



Figura 1-1. Raíz cosechada

Fuente: Aguilar, 2017, p. 16



Figura 2-1. Aspecto interno yuca amarilla

Fuente: Aguilar, 2017, p. 16

1.2.2 Papa

Es un tubérculo cuya mayor diversidad genética de papa (*Solanum tuberosum L.*) cultivada y silvestre se encuentra en los Andes de América del Sur. En la segunda mitad del siglo XX, más específicamente en el año 1994, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) realizó una colección de papas que se cultivan en el Ecuador, y encontró más de 400 diferentes tipos entre especies *andígena* y *phureja* (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.21). Las papas se cultivan y cosechan en la zona andina del país, esto debido a las condiciones edafoclimáticas que contribuyen al crecimiento de las mismas. En relación a lo que se produce anualmente en Ecuador, en el 2019 se obtuvo mayor rendimiento en la cantidad cosechada en comparación del año 2018, al comparar el área cosechada y las toneladas obtenidas; estos datos se muestran en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Datos de cultivo anual de papa en Ecuador

Parámetro	Año	Unidad	Cantidad
Área cosechada	2018	Hectáreas	22099
	2019		19675
Cantidad de producción	2018	Toneladas	269201
	2019		275346

Fuente: FAOSTAT, 2019

Realizado por: Túquerres, A. 2020

1.2.2.1 Taxonomía

El primer registro conocido que menciona la papa fue escrito por Pedro Cieza de León en 1538. (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.21). La papa es una dicotiledónea herbácea que tiene hábitos de crecimiento rastroso o erecto. Es perteneciente al reino Plantae, de la familia *Solanaceae* de género *Solanum* (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.33). En la Tabla 4-1 se muestran más características sobre la taxonomía de la papa.

Tabla 4-1: Taxonomía de la papa

No.	CARACTERÍSTICAS	
1	REINO	Plantae
2	DIVISIÓN	Magnoliophyta
3	CLASE	Magnoliopsida
4	SUBCLASE	Asteridae
5	FAMILIA	Solanácea
6	GÉNERO	<i>Solanum</i>
7	ESPECIE	<i>Solanum tuberosum</i>

Fuente: Pallo, 2014, pp.15-16

Realizado por: Túquerres, A. 2020

1.2.2.2 Condiciones edafoclimáticas

En el Ecuador, la papa se cultiva a una altura entre los 2.000 y los 3.600 m.s.n.m. A pesar de ello en la Costa, específicamente en la Península de Santa Elena, recientemente se ha comenzado a cultivar papa con resultados alentadores. En la región andina se encuentra el cultivo en zonas templadas a frías, con temperaturas entre 6° a 18°C y una precipitación de 600 a 1.200 mm. La papa se desarrolla mejor en suelos bien drenados, húmiferos y bien abastecidos de material orgánico y nutrientes (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.33).

1.2.2.3 Papa Yana Shungo

Papa cuyo nombre científico es *Solanum Andígena*, es una variedad obtenida en noviembre del 2011. Tiene la característica de presentar pulpa color morado, con un alto contenido de antioxidantes naturales que protegen al cuerpo humano del efecto dañino de los radicales libres (polifenoles). También ayudan a combatir enfermedades degenerativas e inhiben la formación y crecimiento de tumores (Monteros et al., 2011, p.1).



Figura 3-1. Aspecto Papa Yana Shungo

Realizado por: Túquerres, A. 2020

1.2.3 Plásticos

1.2.3.1 No biodegradables

Los plásticos convencionales son derivados del petróleo. Los plásticos tradicionales se obtienen mediante la extracción y procesamiento de dicho recurso natural; tras la extracción del petróleo se obtienen monómeros que sufren un proceso de polimerización para finalmente la transformación a los diferentes productos plásticos (Vázquez et al., 2016a, p.6).

1.2.3.2 Biodegradables

Los plásticos biodegradables son plásticos que son biobasados, biodegradables o ambas. El bioplástico puede provenir de materiales de origen renovable y biodegradable, renovable y no biodegradable o de origen petroquímico y biodegradable. En ciertas condiciones los microorganismos degradan y convierten en agua, dióxido de carbono y biomasa al plástico biodegradable (Vázquez et al., 2016b, p.2). Según Álvarez (2016, pp.12-13) un biopolímero se obtiene a partir de materia prima renovable de origen biológico, dividiéndose en tres grupos:

- Polímeros bio-quimiosintéticos: Se obtienen a partir de la síntesis del monómero biológica y posterior polimerización química, son más versátiles en cuanto a sus propiedades físicas y velocidad de degradación. Un ejemplo claro es el PLA (Poli ácido láctico).
- Polímeros biosintéticos: se obtienen por la biosíntesis de polímero a través de microorganismos, como los polihidroxialcanoatos (PHA). Malagón et al. (2017, p.128) añaden que los PHA son sintetizados intracelularmente como reserva de carbono por microorganismos como bacterias, microalgas o arqueas.
- Polímeros naturales: Se obtienen a partir de almidón, celulosa o proteína, pudiéndose modificar químicamente para añadir propiedades atractivas al bioplástico.

- **Plastificantes**

Es una sustancia que se presenta normalmente en estado líquido y de viscosidad mayor a la del agua, esta se añade a la mezcla con el fin de mejorar las propiedades de flexibilidad del material a partir de la reducción de las fuerzas intermoleculares. Al adicionar un plastificante se disminuye la temperatura de fusión al igual que la temperatura de transición vítrea, cambiando su comportamiento reológico, esto se logra por la movilización de moléculas, dando plasticidad al material (Enríquez et al., 2012b, p.186).

Uno de los plastificantes más utilizados es la Glicerina o glicerol, el cual es soluble en agua y es un eficaz agente suavizante para el almidón, ayudando a mejorar la flexibilidad de las películas resultantes. Entre más se incluya una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación aumentan, mientras que el esfuerzo de ruptura, el módulo de Young disminuyen (Otey y Westhoff, 1979; Días-Alves et al., 2017; citados en Enríquez et al., 2012b, p.186).

1.2.4 Almidón

1.2.4.1 Almidón de yuca

Al tener la yuca un alto contenido de almidón y mayor proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón, permite que este sea un importante cultivo industrial que, además, es un cultivo alimenticio rico en calorías. El almidón de yuca es la segunda fuente de almidón en el mundo (siendo el primero el maíz) y se usa principalmente sin modificar (almidón nativo), aunque también se usa modificado con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades, entre ellas consistencia, viscosidad, estabilidad a cambios del pH y temperatura, gelificación, dispersión; y de esta manera usarlo a nivel de la industria en aplicaciones que requieren ciertas propiedades particulares (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.33).

1.2.4.2 Almidón de papa

Es un material multifuncional que presenta propiedades como: fácil dispersión en agua fría, viscosidad considerablemente alta, pobre estabilidad de cizallamiento, buena estabilidad de retrogradación, buena claridad en la pasta, etc. Además de ello, el almidón de papa posee un tamaño de partícula pequeño ($2\ \mu\text{m}$ – $66\ \mu\text{m}$) y al ser la forma de sus gránulos elipsoidal, favorece una formación de película clara. La papa también se destaca por poseer una superficie suave, lo que favorece a los procesos de modificación química (Holguin, 2019, p.29).

1.2.4.3 Amilosa

Aristizábal y Sánchez (2007, p.33-34) explican que es un polímero de cadena lineal que consta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha\text{-D-(1}\rightarrow\text{4)}$ y que el número de unidades varía entre tipos de almidones, aunque generalmente se encuentra entre mil unidades de glucosa por molécula de amilosa. Tiene forma de espiral y, en general, la estructura lineal de la amilosa favorece la formación de películas fuertes.

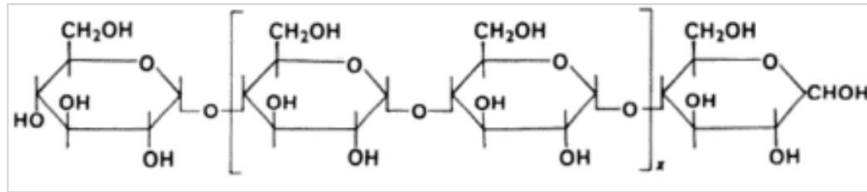


Figura 4-1. Estructura amilosa

Fuente: Arenas y Pedraza, 2017, p. 27

1.2.4.4 Amilopectina

Es un polímero ramificado del almidón y está constituida por 12 unidades de glucosa aproximadamente, que aparecen en promedio cada 20 a 25 unidades de glucopiranosas. Esto se forma a través de residuos de cadenas α -D-glucopiranosil unidos por enlaces (1,4) (Arenas y Pedraza, 2017, p.28). Además de ello tiene una marcada diferencia con la amilosa, pues las soluciones de amilopectina no forman películas tan fuertes y flexibles como la amilosa (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.34).

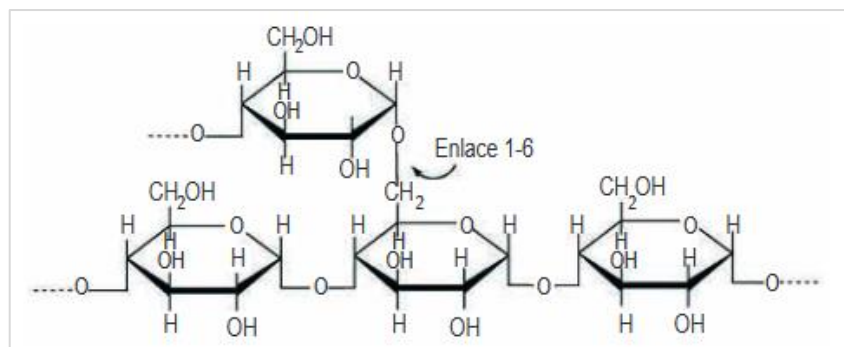


Figura 5-1. Estructura amilopectina

Fuente: Aristizábal y Sánchez, 2007, p. 34

1.2.4.5 Propiedades del almidón

Los autores Aristizábal & Sánchez citan en su libro “Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca” una tabla interesante sobre las características de los gránulos de almidón, donde se puede notar que tanto la yuca como la papa tiene una propiedad de cocción similar entre sí. Además, según el autor, tiene una temperatura de gelatinización de 63 y 64° C respectivamente, lo que conlleva a una mayor facilidad al momento de realizar la mezcla y realizar el bioplástico como tal (Taggart, 2004; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.36).

- **Capacidad de retención de agua**

Se refiere a la cantidad total de agua retenida por un gel de almidón: el agua se adhiere a la superficie de los gránulos de almidón, hinchándose. Este comportamiento puede deberse a la relación amilosa/amilopectina, debido a que las moléculas de agua quedan atrapadas en la estructura de la amilopectina (Bello-Pérez et al. 1998; citado en Pupo, 2020, p.9-10).

- **Solubilidad**

Los almidones tienen cierta capacidad de disolverse en agua cuando tiene una temperatura superior a la temperatura de gelatinización. Esto depende del porcentaje de amilosa y amilopectina presente en el almidón (Holguin, 2019, p.29).

- **Poder de hinchamiento**

Es la capacidad que tiene el almidón de hidratarse en el agua. Se denota como gramos de agua absorbida (gel) por gramo de almidón total (López et al., 2010; Han et al., 2012; Sahoré y Amani, 2013; citado en Tupa, 2019, p.139).

- **Gelatinización**

Al calentar el almidón, las moléculas de agua alrededor de sus gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior de dichos gránulos, absorbiendo el agua lentamente e hinchándose. Esto ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica definida como la temperatura de transición vítrea T_g (Temperatura de gelatinización) la cual es característica de cada almidón. Al estar la molécula de almidón completamente hidratada se empieza a expandir primero hacia el extremo externo y la amilosa tiende a difundirse. Al llegar a la temperatura de gelatinización se incrementa el hinchamiento y la capacidad de refractar la luz polarizada desaparece; este fenómeno endotérmico se denomina gelatinización (Winiska y Gómez, 1992; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.37).

- **Claridad de pasta**

La claridad de la pasta (suspensión de almidón en agua) está ligada con el estado de dispersión, como es el nivel de dilución y la retrogradación de una muestra. Dicha suspensión de almidón en agua es opaca y la gelatinización incrementa su transparencia (Pupo, 2020, p.11).

- **Gelificación**

En la gelificación, las moléculas de almidón se vuelven menos solubles en el medio en el que se encuentran y tienden a agregarse. Se da en la etapa de enfriamiento (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.38).

- **Retrogradación**

Es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel y, del mismo modo que la gelificación, ocurre en la etapa de enfriamiento. Se da en tres etapas: primero ocurre la dilatación de cadenas por el rompimiento de los enlaces intermoleculares que conservan la configuración helicoidal; después existe una pérdida del límite de agua, seguido de una reorientación de las moléculas. Finalmente se da una formación de enlaces de hidrógeno entre moléculas cercanas formando así una estructura cristalina (Mestres, 1996; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.38).

1.2.5 Almidón modificado

Al almidón nativo se le puede realizar ciertas modificaciones para que el mismo adquiera propiedades nuevas o mejore las que ya posee. De esta manera aumenta las posibilidades de uso

en la industria, debido a que presenta mejores propiedades funcionales, como características físicas, químicas y/o reológicas. Existe la modificación química, física y enzimática.

1.2.5.1 Modificación física

En este tipo de modificación se altera la estructura del granular, el tamaño físico o incrementa la solubilidad del almidón en agua a temperaturas bajas. Para tratar el almidón se lo realiza a condiciones de temperatura, presión, cizalla y otras (Holguin, 2019, p.32).

1.2.5.2 Modificación enzimática

Puede darse a través de ciertas enzimas, como la α -amilasa, glucoamilasa, β -amilasa, isoamilasa y pululanasa; todos ellos se encargan de forzar una hidrólisis del almidón (Holguin, 2019, p.32). En la hidrólisis de almidón se reúnen todos los productos de fraccionamiento del almidón, sin tomar en importancia los catalizadores usados (ácidos, enzimas) o del nivel de dicho fraccionamiento. Incluyen un número considerable de productos diferentes como glucosa, maltosa, maltodextrinas, fructosa, dextrinas (Montes et al., 2008; citado en Pupo, 2020, p.12).

Bonilla et al. (2014, p.136) mencionan que mediante la hidrólisis del almidón se puede disminuir el peso molecular promedio del mismo, esto permite que se reduzca el tamaño de las moléculas del almidón y la viscosidad de las dispersiones preparadas, lo que beneficia en la obtención de películas de mayor calidad.

1.2.5.3 Modificación química

Está relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo de la molécula de almidón. Las reacciones vía éter, formación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos -OH, son algunas de las modificaciones químicas para el almidón. El grado de sustitución está relacionado con este tipo de modificación y señala el promedio del número de sustituciones por unidad de anhidroglucosa en la molécula de almidón. El máximo grado de sustitución (denominado a veces como DS) es 3 debido a que se presentan tres grupos -OH disponibles por unidad de anhidroglucosa (Peñaranda et al., 2008, p.48).

- **Acetilación**

Es una modificación química a través de esterificación, donde los grupos hidroxilos (OH), son reemplazados por grupos acetilos ($\text{CH}_3\text{-C=O}$) (Castro, 2014; Prieto, 2009; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.37). En dicha reacción, la cantidad de grupos acetilos que se incorporan en la molécula va a depender del origen botánico del almidón, concentración y naturaleza del reactivo, tiempo de reacción, pH y del catalizador presente en la reacción; esta dependencia es comprobada por varios autores en diversas ocasiones, incluso utilizando Vinil acetato o ácido acético (Betancur, 1997; Bello-Pérez, 2010; citado en Martínez et al., 2019, p.339). La reacción mostrada en la Figura 6-1 corresponde a la adición de Anhídrido acético, reactivo más comúnmente utilizado para la acetilación del almidón, mismo que se usa en el presente estudio.

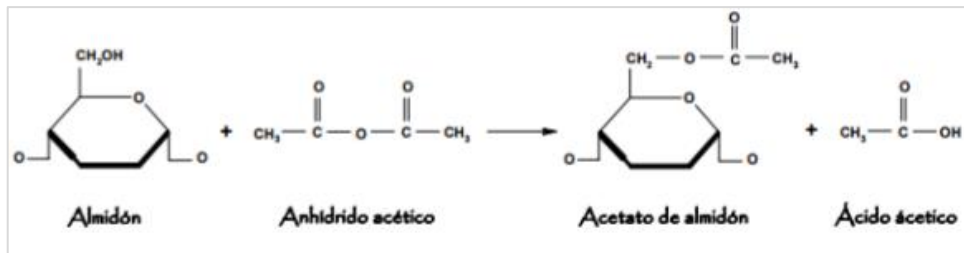


Figura 6-1: Acetilación del almidón

Fuente: Arenas y Pedraza, 2017, p. 37

La modificación del almidón altera de manera significativa las propiedades del biopolímero, como por ejemplo la disminución de la temperatura de gelatinización, retardo de a retrogradación y mejora en la estabilidad térmica, todas ellas vinculadas a la cantidad de grupos acetilo incorporados. La aplicación de este almidón acetilado depende del grado de sustitución (GS) del mismo; un GS entre 0.01-0.2 (bajo grado de sustitución) han sido aprobados por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) para su uso en alimentos con la finalidad de dar estabilidad y textura (Colussi et al., 2014; citado en Salcedo-Mendoza et al., 2016, p.788). Un GS entre 2.0-3.0 (alto grado de sustitución) se usan para aplicaciones no alimentarias como aglutinantes de comprimidos, filtros de cigarrillos y materiales de recubrimiento (Rivas, 2012; citado en Salcedo-Mendoza et al., 2016, p.788).

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Hipótesis General

El almidón modificado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*), al tener mejores propiedades que el almidón sin modificar, puede usarse para obtener una película biodegradable, para el uso en alimentos.

2.2 Hipótesis Específicas

- El rendimiento de almidón obtenido de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) puede variar según el tiempo de licuado.
- El método de esterificación por acetilación con Anhídrido Acético en el almidón es el más favorable para obtener un mayor grado de acetilación.
- Al realizar la caracterización del almidón modificado y sin modificar de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) a través de métodos químicos y físicos, no se encontrarán diferencias significativas.
- Al realizar formulaciones para la obtención de biopelícula a base de almidón se encontrará la más óptima visualmente y mediante ensayos mecánicos.

2.3 Identificación de Variables

Tabla 5-2: Identificación de variables de proceso

Etapas del proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Obtención de almidón	Tiempo de trituración	Caracterización del almidón
Formulación del bioplástico	Porcentaje de mezcla entre almidones y aditivos	Formulación de bioplástico

Realizado por: Túquerres, A. 2020

2.4 Operacionalización de Variables

Tabla 6-2: Operacionalización de las variables que intervienen en la extracción del almidón, acetilación, elaboración de bioplástico

Variable	Tipo de Variable	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición	Valor
Estado del tubérculo/raíz	Independiente	Estado físico, punto de maduración o partes dañadas del tubérculo o la raíz.	Obtención del almidón	Cambios organolépticos	Olfato, visión, tacto	Óptimo
Cantidad de muestra	Independiente	Porción obtenida de almidón a partir de un peso inicial de materia prima.	Obtención del almidón	Peso	Balanza analítica	Rango 50g – 1500 g
Temperatura	Dependiente	Magnitud física que mide la cantidad de energía térmica de un sistema.	Obtención del almidón	Calor	Termómetro	Rango 25°C – 75°C
			Obtención de bioplástico			
Tiempo	Dependiente	Magnitud física que mide la duración de los acontecimientos.	Obtención del almidón	Minutos	Cronómetro	Depende del tipo de tratamiento
Velocidades para obtener almidón	Dependiente	Magnitud física que mide la velocidad de rotación de las aspas	Obtención de almidón	Perilla Licuadora	Perilla Licuadora	Baja, alta
Porcentaje de almidón para la formulación	Dependiente	Porcentaje de mezcla entre dos tipos de almidón.	Obtención de bioplástico	% de mezcla	Cantidad porcentual	Depende del tipo de tratamiento
Plastificante	Dependiente	Glicerina	Obtención de bioplástico	-	Balanza analítica	Según diseño experimental

Realizado por: Túquerres, A. 2020

2.5 Matriz de Consistencia

Tabla 7-2: Matriz de consistencia

Aspectos generales				
Problema general		Objetivo General		Hipótesis general
El mal manejo de residuos y la poca conciencia ambiental de las personas, han llevado a que los plásticos se conviertan en un problema. Este polímero no se degrada a diferencia de una biopelícula, siendo la obtención de dicha biopelícula el objetivo principal del presente trabajo.		Obtener una película biodegradable a partir de almidón modificado de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>) para el uso en alimentos.		El almidón modificado de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>), al tener mejores propiedades que el almidón sin modificar, puede usarse para obtener una película biodegradable, para el uso en alimentos.
Aspectos Específico				
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables de las hipótesis específicas	Técnicas de recolección de datos
La calidad de la materia prima debe cumplir con estándares de calidad, sin exceso de maduración, color adecuado, buen aroma.	Obtener almidón de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>).	El rendimiento de almidón obtenido de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>) puede variar según el tiempo de licuado.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de licuado • Tamaño de la fruta 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos experimentales
Existe más de un reactivo principal que cita la bibliografía.	Emplear el método de esterificación por acetilación en el almidón.	El método de esterificación por acetilación con Anhídrido Acético en el almidón es el más favorable para obtener un mayor grado de acetilación.	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivo a utilizar • Tiempo de reacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación del grupo acetilo por espectrofotómetro
Tras realizar el proceso de acetilación, no se conoce si las pruebas de humedad, ceniza y proteína arrojen los mismos valores.	Realizar la caracterización del almidón de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>) a través de métodos químicos y físicos.	Al realizar la caracterización del almidón modificado y sin modificar de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>) a través de métodos químicos y físicos, no se encontrarán diferencias significativas.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Reactivos a utilizar 	<ul style="list-style-type: none"> • % de humedad • % de ceniza • % de proteína

<p>No se conoce la composición más adecuada para el % de mezcla entre el almidón de Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>) y Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>).</p>	<p>Realizar formulaciones para la obtención de biopelícula a base de almidón con sus respectivas pruebas mecánicas.</p>	<p>Al realizar formulaciones para la obtención de biopelícula a base de almidón se encontrará la más óptima visualmente y mediante ensayos mecánicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • % de mezcla • Cantidad de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación visual • Ensayos mecánicos
--	---	---	---	--

Realizado por: Túquerres, A. 2020

2.6 Tipo y Diseño de Investigación

2.6.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo exploratorio debido a que se centra en el análisis del mejor tratamiento para la obtención de almidón, así como de la mejor formulación para la obtención de una biopelícula a partir de almidón modificado químicamente. Además, se usará el método cuantitativo debido a que se recolectan datos específicos al realizar la obtención de almidón y caracterización del mismo, formulación de bioplásticos y demás análisis; y el método deductivo para llegar a conclusiones específicas a partir de principios generales.

2.6.2 Diseño de investigación

El diseño es experimental debido a las variables presentes en la investigación, de las cuales depende el éxito del mismo. La modificación de estas variables debe cumplir con las expectativas para el almidón y el bioplástico obtenido.

2.6.2.1 Diseño factorial 2k para obtención de almidón

Se aplica el diseño factorial 2k en la obtención de almidón, teniendo como variables el tiempo de licuado y la velocidad del mismo. Los intervalos se tomaron de 1 minuto y 2 minutos; y como segunda variable la velocidad de licuado de baja y alta. De esta manera se llevan a cabo 4 tratamientos con 4 repeticiones cada una para tener un resultado confiable con un total de 16 muestras. El fin del estudio es determinar con qué tratamiento se obtiene la mayor cantidad de almidón, midiendo a través del rendimiento del almidón obtenido.

Tabla 8-2: Variables para obtención almidón

Velocidad	Baja
	Alta
Tiempo	1 min
	2 min

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Las combinaciones de las variables con 4 repeticiones cada una se presenta mediante un diseño experimental en la Tabla 9-2, para de esta manera identificar el mejor tratamiento al obtener la mayor cantidad de almidón.

Tabla 9-2: Diseño experimental para la extracción de almidón de Yuca Amarilla y Papa Yana Shungo

N°	Codificación		Respuesta de variable
	Velocidad	Tiempo	
1	-1,0	-1,0	VEL B : 1min
2	1,0	-1,0	VEL A : 1min
3	-1,0	1,0	VEL B : 2min
4	1,0	1,0	VEL A : 2min
5	-1,0	-1,0	VEL B : 1min
6	1,0	-1,0	VEL A : 1min
7	-1,0	1,0	VEL B : 2min
8	1,0	1,0	VEL A : 2min
9	-1,0	-1,0	VEL B : 1min
10	1,0	-1,0	VEL A : 1min
11	-1,0	1,0	VEL B : 2min
12	1,0	1,0	VEL A : 2min
13	-1,0	-1,0	VEL B : 1min
14	1,0	-1,0	VEL A : 1min
15	-1,0	1,0	VEL B : 2min
16	1,0	1,0	VEL A : 2min

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Donde:

- Velocidad -1,0: velocidad baja (VEL B)
- Velocidad 1,0: velocidad alta (VEL A)
- Tiempo -1,0: 1 min
- Tiempo 1,0: 2 min

2.6.2.2 Diseño factorial 2k para obtención bioplástico

Del mismo modo, se aplica el diseño factorial 2k en la obtención de bioplástico, teniendo como variables cantidad de almidón y el plastificante, que en este caso es la glicerina. La adición del almidón de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) es la primera variable; y como segunda variable la cantidad de glicerina. De esta manera se llevan a cabo 4 tratamientos con 3 repeticiones cada una para tener un resultado confiable con un total de 12 muestras. El fin del estudio es determinar con qué tratamiento se obtiene la mejor película

biodegradable, verificando a través de un análisis sensorial y posteriormente con pruebas mecánicas al mejor tratamiento escogido mediante dicho análisis.

Tabla 10-2: Variables para obtención bioplástico

Glicerina	1,25 g
	1,5 g
Almidón	1,5 g
	2,0 g

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Las combinaciones de las variables con 3 repeticiones cada una se presenta mediante un diseño experimental en la Tabla 11-2, para de esta manera identificar el mejor tratamiento para el bioplástico.

Tabla 11-2: Tratamientos para la obtención de bioplásticos

N°	Codificación		Respuesta de variable
	Glicerina	Almidón	
1	-1,0	-1,0	CG1 : CA1
2	1,0	-1,0	CG2 : CA1
3	-1,0	1,0	CG1 : CA2
4	1,0	1,0	CG2 : CA2
5	-1,0	-1,0	CG1 : CA1
6	1,0	-1,0	CG2 : CA1
7	-1,0	1,0	CG1 : CA2
8	1,0	1,0	CG2 : CA2
9	-1,0	-1,0	CG1 : CA1
10	1,0	-1,0	CG2 : CA1
11	-1,0	1,0	CG1 : CA2
12	1,0	1,0	CG2 : CA2

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Donde:

- Glicerina -1,0: 1,25 gramos (CG1)
- Glicerina 1,0: 1,50 gramos (CG2)
- Almidón -1,0: 1,50 gramos (CA1)
- Almidón 1,0: 2 gramos (CA2)

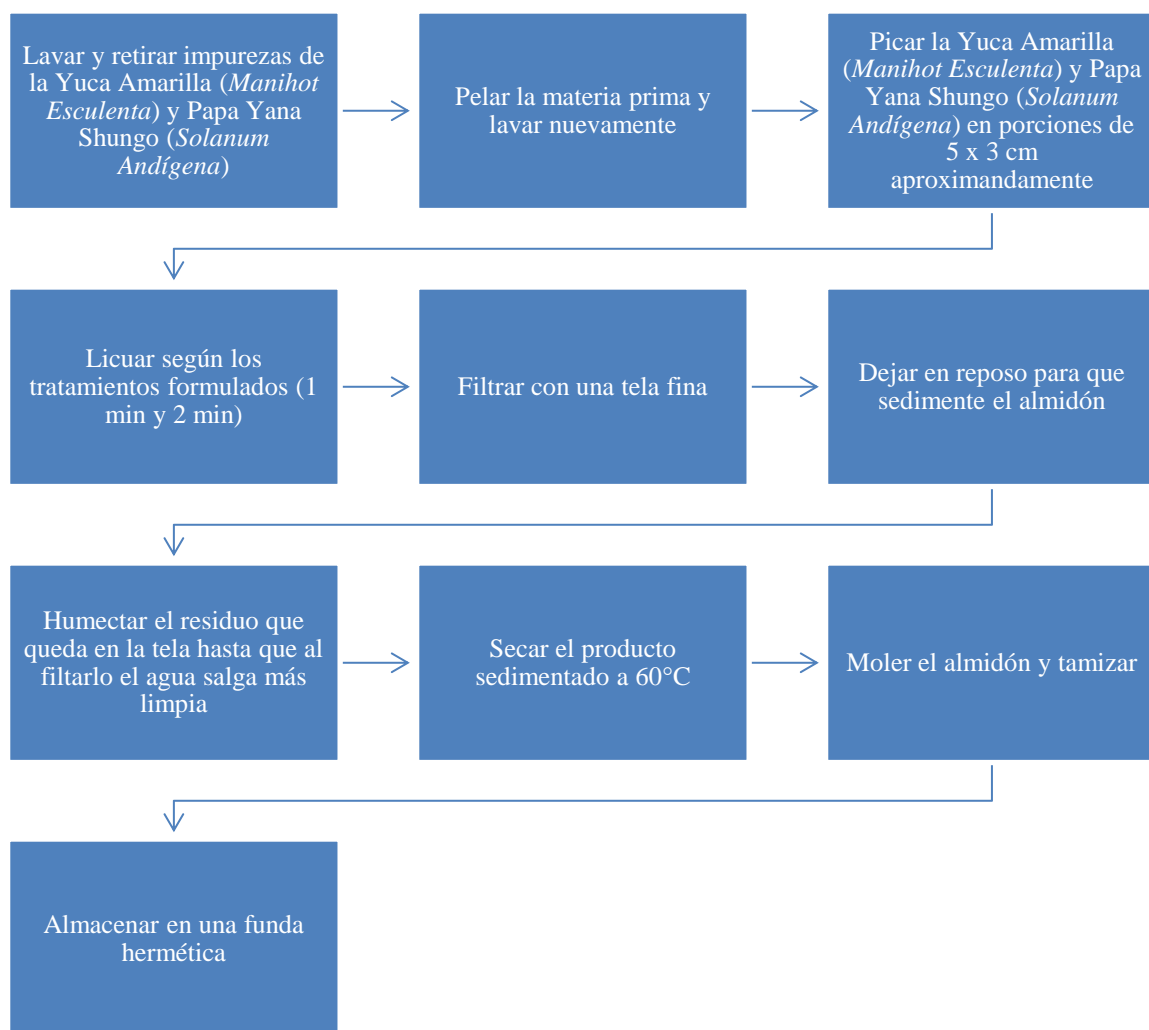


Gráfico 1-2. Obtención almidón

Realizado por: Túquerres, A. 2020

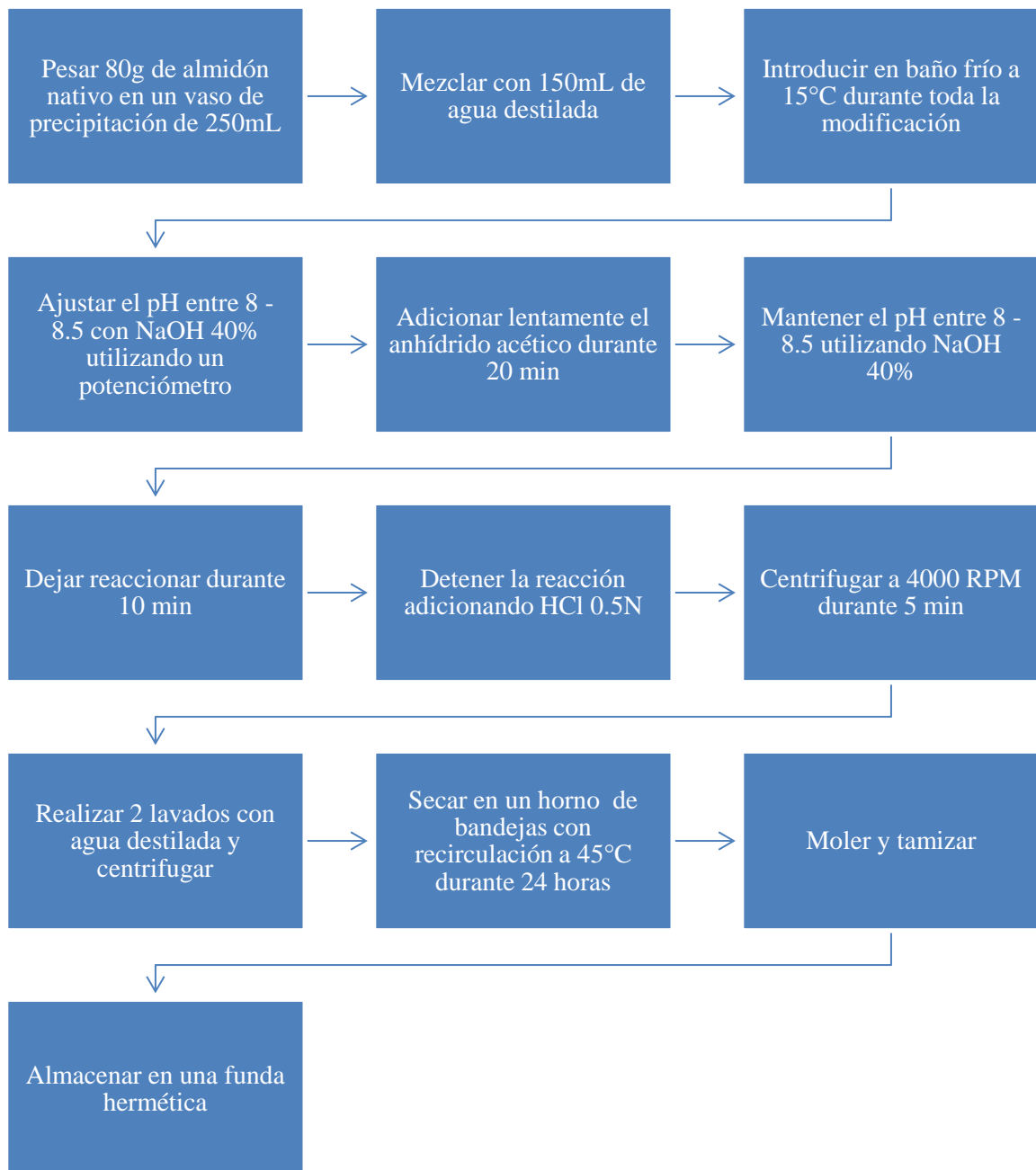


Gráfico 2-2. Proceso acetilación

Fuente: Carrascal, 2013; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.49

Realizado por: Túquerres, A. 2020

2.7 Unidad de Análisis

Los objetos de estudio son la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*), las cuales serán sometidos a diferentes ensayos, entre los cuales se encuentran: tratamientos para la obtención de almidón con tiempos de licuado de 1 y 2 minutos; modificación química del almidón por acetilación; diferentes formulaciones y porcentajes de mezcla entre los dos tipos de almidón; y diferentes caracterizaciones.

2.8 Población de Estudio

La población de estudio corresponde a los pueblos ancestrales de la región Andina y Amazónica, pues la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) son autóctonas de estas regiones; enriqueciendo así la agricultura y economía de estos lugares. Además de ello beneficiará al Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo (GIAD) de la ESPOCH, fomentando al estudio experimental de la extracción de almidón de cultivos ecuatorianos poco conocidos.

2.9 Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra dependerá del proceso a seguir; para la caracterización físico química del almidón se tomarán las muestras indicadas en la técnica a seguir según la bibliografía. Del mismo modo, para el proceso de acetilación se tomará una muestra de 80g para el respectivo proceso. Para las formulaciones del bioplástico se utilizará entre 3 y 5% de almidón, 10% de glicerina, entre 80 y 85% de agua. Para el caso de la mezcla de almidones, se hará 30 – 70%, 50 – 50% y 70 – 30% entre la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*).

2.10 Selección de muestra

Al ser la Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) de baja comercialización en los mercados de la ciudad de Riobamba se optó por comprar vía online a un distribuidor de dicha variedad de papa, la cual llegó en buen estado. Del mismo modo la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) se importó desde la región amazónica, llegando en un estado óptimo.

2.11 Técnicas de Recolección de Datos

2.11.1 Almidón

2.11.1.1 Extracción de almidón

El proceso se realizó mediante el método húmedo:

- Lavar la materia prima y retirar impurezas.
- Quitar la corteza de la materia prima y lavar nuevamente.
- Picar en trozos de 7 cm de largo por 3cm de alto aproximadamente.
- Colocar en la licuadora 200g de muestra en 500mL de agua.
- Realizar tratamientos de 1 y 2 minutos para determinar cuál es el más óptimo relacionando el tiempo y el rendimiento del polisacárido en cuestión.

- Filtrar mediante una tela fina y dejar reposar el líquido, mientras tanto lavar el bagazo obtenido de la filtración para poder obtener más almidón.
- Desechar el sobre nadante del líquido.
- Dejar secar el sedimento en un secador de bandeja a 60°C.
- Moler el almidón obtenido.
- Tamizar y reservar en una funda hermética.

2.11.1.2 Humedad

- Colocar 3 cápsulas en una estufa para retirar la humedad a 105°C durante 2 horas.
- Pesar las cápsulas después de 2 horas o hasta que su peso sea constante.
- Pesar 5g de muestra de almidón.
- Colocar la muestra en las cápsulas y colocar en la estufa a 105°C durante 2 horas o hasta peso constante.
- Pesar las cápsulas con la muestra.
- Determinar el porcentaje de humedad mediante la ecuación:

Ecuación 1-2. Determinación de humedad

$$\%humedad = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100\%$$

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Donde:

m_i : Masa inicial de la muestra antes de la estufa

m_f : Masa final de la muestra después de la estufa

2.11.1.3 Ceniza

- Colocar 3 crisoles en una estufa para retirar la humedad a 105°C durante 2 horas.
- Pesar los crisoles después de 2 horas o hasta que su peso sea constante.
- Pesar 5g de muestra de almidón.
- Colocar la muestra en los crisoles y colocar en la mufla a una temperatura entre 500 - 550°C durante 2 horas o hasta peso constante.
- Pesar los crisoles con la muestra.
- Determinar el porcentaje de ceniza mediante la ecuación:

Ecuación 2-2. Determinación de ceniza

$$\%ceniza = \frac{m_f}{m_i} * 100\%$$

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Donde:

m_i : Masa inicial de la muestra antes de la mufla

m_f : Masa final de la muestra después de la mufla

2.11.1.4 *Proteína*

- Prueba en el equipo de Kjeldahl laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

2.11.1.5 *Grasa y fibra*

- Prueba según el procedimiento recomendado en el laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

2.11.1.6 *Distribución del tamaño del gránulo*

- Pesar cada tamiz y el fondo, vacíos y limpios.
- Pesar 100 g de la muestra de almidón y transferir al tamiz de la parte superior del grupo de tamices.
- Agitar el grupo de tamices hasta que la cantidad de almidón que pasa a través de la parte superior del grupo de tamices sea insignificante (aproximadamente 10 minutos).
- Remover el tamiz de la parte superior y agitar hasta que la cantidad de almidón a través del siguiente tamiz sea insignificante.
- Continuar de igual forma con los otros tamices hasta que todos sean removidos.
- Pesar cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón.

(ISI, 1999; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.61)

2.11.1.7 *Viscosidad Brookfield*

- Pesar 25,0 g de almidón en base seca, disolver en agua destilada y completar a 500 mL.
- Colocar la suspensión en un vaso de precipitado de 1000 mL y calentar con agitación hasta ebullición (aproximadamente 15 minutos).
- Enfriar el gel hasta 25 °C y tomar una alícuota de 15 mL.
- Medir la viscosidad a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM.

(ISI, 2002; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.66)

2.11.1.8 *Temperatura de gelatinización*

- Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 mL.
- Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.
- Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
- Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.
- Leer la temperatura de gelatinización.

(Grace, 1977; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72)

2.11.1.9 Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua

- Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.
- Pesar en los tubos 1,25 g de almidón y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).
- Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- Centrifugar a temperatura ambiente a 3000 RPM durante 30 minutos.
- Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.
- Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado).
- Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.
- Pesar el tubo de centrifuga con el gel.
- Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Ecuación 3-2. Determinación de Índice de Absorción de Agua

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Ecuación 4-2. Determinación de Índice de Solubilidad en el Agua

$$ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Ecuación 5-2. Determinación de Poder de Hinchamiento

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso solubles (g)}}$$

Fuente: Anderson et al., 1969; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73

2.11.1.10 pH

- Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0.
- Mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos.
- Filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1.
- Tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal.

(ISI, 1999; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.89)

2.11.1.11 Amilosa y amilopectina

- Pesar 0,1 g de almidón en un vaso de precipitación de 50 mL.
- Adicionar 1 mL de etanol al 99% y 9mL de NaOH 1 M.
- Calentar la solución durante 10 minutos hasta gelatinizar el almidón.
- Dejar enfriar.
- Aforar en un matraz de 100 mL.
- Extraer una alícuota de 5 mL y colocar en otro matraz de aforo de 100 mL.
- Añadir 1 mL de ácido acético 1 M y 2 mL de solución de yodo.
- Leer la absorbancia a 620 nm.

(Hassan et al., 2013; citado en Ortiz, 2019, p.25)

Ecuación 6-2. Contenido Amilosa

$$\text{Contenido amilosa (\%)} = 3,06 * \text{Absorbancia} * 20$$

Ecuación 7-2. Contenido Amilopectina

$$\text{Contenido amilopectina (\%)} = 100 - \% \text{ amilosa}$$

Fuente: Hassan et al., 2013; citado en Ortiz, 2019, p.25

2.11.2 Acetilación almidón

- Pesar 80g de almidón nativo en un vaso de precipitación de 250mL.
- Mezclar con 150mL de agua destilada.
- Introducir en baño frío a 15°C durante toda la modificación.
- Ajustar el pH entre 8 - 8.5 con NaOH 40% utilizando un potenciómetro.
- Adicionar lentamente el anhídrido acético durante 20 min.
- Mantener el pH entre 8 - 8.5 utilizando NaOH 40%.
- Dejar reaccionar durante 10 min.
- Detener la reacción adicionando HCl 0.5N.
- Centrifugar a 3000 RPM durante 15 min.
- Realizar 2 lavados con agua destilada y centrifugar.
- Secar en un horno de bandejas con recirculación a 45°C durante 24 horas.
- Moler y tamizar.
- Almacenar en una funda hermética.

(Carrascal, 2013; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.49)

2.11.2.1 Determinación grado de sustitución

Grupos acetilos

- Pesar 1g de almidón acetilado y nativo en un Erlenmeyer de 250 mL.
- Agregar 50 mL de agua tipo I, 2 gotas de fenolftaleína.
- Neutralizar con NaOH 0.1N hasta que permanece un color ligeramente rosado.
- Adicionar 25 mL de NaOH 0.45N y se agita la suspensión con ayuda de un agitador magnético durante 30 minutos.
- Titular las muestras con HCl 0.2N.
- Determinar % de grupos acetilos.

(Rivas et al., 2009; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.51)

Ecuación 8-2. Determinación % acetil

$$\%acetil = \frac{(mL\ blanco - mL\ muestra) * N\ HCl * 0.043 * 100}{gramos\ de\ la\ muestra}$$

Fuente: Rivas et al., 2009; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.51

Donde:

- mL blanco: mL de HCl 0.2N gastados en la titulación del almidón nativo.
- mL muestra: mL de HCl 0.2N gastados en la titulación del almidón acetilado.
- 0.0043: miliequivalentes del grupo acetilo

Grado sustitución

Ecuación 9-2. Determinación grado de sustitución

$$Grado\ de\ sustitución = \frac{162 * \%acetil}{4300 - (42 * \%acetil)}$$

Fuente: Rivas et al., 2009; citado en Arenas y Pedraza, 2017, p.51

Donde:

- 162: peso molecular de la unidad anhidro glucosa (g/mol).
- 4300: 100 x peso molecular del grupo acetilo (g/mol).
- 42: peso molecular del grupo acetilo – 1 (g/mol).

2.11.3 Bioplásticos

2.11.3.1 Formulación biopelícula

Se añadirá 40mL de agua cada una de las formulaciones, siendo esta una constante.

Tabla 12-2: Porcentaje de mezcla entre los almidones obtenidos

Denominación	Almidón Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>)	Almidón Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>)
A1	30%	70%
A2	50%	50%
A3	70%	30%

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Tabla 13-2: Formulaciones para cada denominación

N°	TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIONES
1	T1	CG1 : CA1	R1
2			R2
3			R3
4	T2	CG2 : CA1	R1
5			R2
6			R3
7	T3	CG1 : CA2	R1
8			R2
9			R3
10	T4	CG2 : CA2	R1
11			R2
12			R3

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Donde:

- Glicerina (CG1): 1,25 gramos.
- Glicerina (CG2): 1,50 gramos.
- Almidón (CA1): 1,50 gramos.
- Almidón (CA2): 2 gramos.

2.11.3.2 Caracterización biopelícula

Solubilidad

- Cortar piezas de dimensiones de 2x3 cm.
- Colocar en un desecador durante 7 días.
- Pesar las muestras y colocar en un vaso de precipitación con 80 mL de agua destilada.
- Mantener en agitación constante durante 1h a 25°C
- Secar en las piezas en una estufa a 60°C durante 2h.

- Determinar el porcentaje de materia soluble.

(García et al., 2004; citado en Trujillo, 2014, p.49)

Ecuación 10-2: Determinación solubilidad de las películas

$$\%solubilidad = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} * 100\%$$

Fuente: García et al., 2004; citado en Trujillo, 2014, p.49

Espesor

- Se miden 3 películas con un pie de rey digital.
- Se determina el promedio del espesor de las películas.

Permeabilidad

- En un tubo de ensayo se agrega sílica gel (0% HR).
- Se cubre con la biopelícula y se sella con cinta Scotch.
- Se ingresa el tubo de ensayo en un desecador (50% HR) a 25°C.
- Se pesa cada hora los tubos de ensayos.
- Se calcula la permeabilidad al vapor de agua (g/Pa*s*m)

(ASTM E96, 2010; citado en Joaqui y Villalda, 2013, p.61-62)

Ecuación 11-2: Velocidad de transmisión de vapor de agua

$$VTVA = \frac{J}{t * A}$$

Ecuación 12-2: Permeabilidad al vapor de agua

$$PVA = \frac{VTVA * L}{P_W * (RH_1 - RH_2)}$$

Fuente: ASTM E96, 2010; citado en Joaqui y Villalda, 2013, p.61-62

Donde:

- J: Pendiente de la curva peso vs. Tiempo.
- t: Tiempo total en horas.
- A: Área de permeación (m²).
- L: Espesor de la película (m).
- P_W: Presión parcial del vapor de agua a temperatura del ensayo (Pa)
- RH₁-RH₂: Diferencia de humedades relativas.

Degradabilidad

- Se cortan películas de 2,5x2,5 cm.

- Se realiza un peso inicial de la muestra.
- Se coloca sobre y 2cm por debajo de una muestra de tierra.
- Se pesa durante 4 semanas
- Se calcula en porcentaje de degradabilidad

Ecuación 13-2: Porcentaje de degradabilidad biopelícula

$$\% \text{ Degradabilidad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso final}} * 100\%$$

Ensayos mecánicos

- Se las realizará en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 OBTENCIÓN ALMIDÓN NATIVO

3.1.1 Almidón nativo de Yuca Amarilla

A partir de 8.5 Kg aproximados de materia prima se realizó un análisis sensorial y además se obtuvo 6.1 Kg de yuca amarilla fresca, es decir, un total de 2.4 Kg de cáscara. En la Tabla 14-3 y 15-3 se presentan características relevantes de la materia prima.

Tabla 14-3: Análisis organoléptico de 5 muestras de Yuca Amarilla

No.	MATERIA PRIMA	
	Característica	
1	Olor	Dulce
2	Sabor	Dulce-Amargo
3	Color	Amarillo crema
4	Textura interna	Suave
5	Textura externa	Rugosa

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Tabla 15-3: Peso, longitud y diámetro promedio de 5 muestras de Yuca amarilla

No.	YUCA AMARILLA		
	PESO (g)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)
1	1250	52	24
2	1010	49	28
3	908	46	27
4	1200	43	32
5	1000	50	30
PROMEDIO	1073,6	48	28,2

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Seguido a ello, se realiza el proceso de extracción de almidón de Yuca Amarilla mediante el diseño experimental descrito en la Tabla 9-2 para determinar el tratamiento que tiene mayor rendimiento en cuanto al total de almidón obtenido, tal y como se muestra en la Tabla 16-3.

Tabla 16-3: Rendimiento de almidón de Yuca Amarilla

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PRODUCTO (g)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		DE TIEMPO SECADO (h)
						R	PROMEDIO	TOTAL	R	PROMEDIO	
1	T1	VEL B : 1min	R1	500	200	49,302	49,180	196,721	24,651	24,590	24
2			R2			49,890			24,945		
3			R3			48,382			24,191		
4			R4			49,147			24,5735		
5	T2	VEL B : 2min	R1			44,230	45,052	180,208	22,115	22,526	24
6			R2			45,822			22,911		
7			R3			45,697			22,8485		
8			R4			44,459			22,2295		
9	T3	VEL A : 1min	R1			43,563	40,607	162,426	21,7815	20,303	24
10			R2			40,940			20,47		
11			R3			38,503			19,2515		
12			R4			39,420			19,71		
13	T4	VEL A : 2min	R1			43,598	41,455	165,821	21,799	20,728	24
14			R2			42,610			21,305		
15			R3			38,123			19,0615		
16			R4			41,490			20,745		

Realizado por: Túquerres, A. 2020

A partir de los datos anteriores se realiza un análisis ANOVA para verificar si se rechaza o se acepta la hipótesis nula (Tabla 17-3, 18-3 y 19-3), y una prueba de Tukey para determinar si existen o no diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 20-3).

Tabla 17-3: Datos de rendimientos de almidón de Yuca Amarilla necesarios para análisis ANOVA

Tratamientos	Velocidad Baja		Velocidad Alta	
	T1	T2	T3	T4
Rendimientos	24,651	22,115	21,782	21,799
	24,945	22,911	20,470	21,305
	24,191	22,8485	19,252	19,062
	24,573	22,2295	19,710	20,745
Promedio	24,590	22,526	20,303	20,728

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Tabla 18-3: Análisis de varianza de almidón de Yuca Amarilla de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	T1	T2	Total
VEL B			
Cuenta	4	4	8
Suma	98,3605	90,104	188,4645
Promedio	24,590125	22,526	23,5580625
Varianza	0,096406396	0,169688167	1,331358246
VEL A			
Cuenta	4	4	8
Suma	81,213	82,9105	164,1235
Promedio	20,30325	20,727625	20,5154375
Varianza	1,223717417	1,419160229	1,184117317
Total			
Cuenta	8	8	
Suma	179,5735	173,0145	
Promedio	22,4466875	21,6268125	
Varianza	5,81642371	1,604978638	

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Tabla 19-3: Análisis de varianza de rendimientos de almidón de Yuca Amarilla

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	37,030	1	37,030	50,919	1,19E-05	4,747
Columnas	2,689	1	2,689	3,697	0,0786	4,747
Interacción	6,193	1	6,193	8,515	0,0129	4,747
Dentro del grupo	8,727	12	0,727			
Total	54,639	15				

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Al ser la probabilidad de las interacciones menor a 0,05 (por el nivel de confiabilidad) se rechaza la hipótesis nula, donde:

- H_0 (hipótesis nula): el rendimiento de extracción de almidón es igual en todos los tratamientos, con un 95% de confiabilidad.
- H_1 (hipótesis alternativa): el rendimiento de extracción de almidón es diferente al menos en un tratamiento, con un 95% de confiabilidad.

Es decir que al rechazar la hipótesis nula se acepta la hipótesis alternativa, por tanto, existe al menos un tratamiento que tiene un rendimiento estadísticamente diferente a los demás. Para concluir el análisis se realiza una prueba de Tukey para determinar si existe o no diferencias significativas entre los tratamientos. Para ello se necesita de HSD (Diferencia Honestamente Significativa) que se representa con ω , para verificar dicha diferencia.

Ecuación 14-3: Diferencia Honestamente Significativa

$$\omega = q_{\alpha}(a, v) * \sqrt{\frac{CME}{n_g}}$$

Fuente: Cervantes et al., 2004, p.32

Donde:

- n_g : Tamaño de muestra.
- q_{α} : Grado de significancia.
- CME: Cuadrado error medio (cociente entre Suma de los cuadrados y Grados de libertad).

Es así que, con las Tablas 18-3 y 19-3, se obtienen los datos necesarios para completar los datos de la Ecuación 11-3; mientras que el dato para q_{α} se obtiene a partir de la tabla mencionada por Abdi y Williams (2010, p.11) donde existen algunos valores críticos del rango q_{α} estudentizado, que dependerán de los grados de libertad, el tamaño de la muestra y nivel de confiabilidad. Una vez obtenido el dato de la HSD (ω) se compara con los valores de la tabla siguiente, que se obtuvieron a partir de la diferencia entre los promedios de los rendimientos de los cuatro tratamientos.

Tabla 20-3: Comparación entre tratamientos de obtención de almidón de Yuca Amarilla mediante prueba Tukey

	T1	T2	T3	T4
T1		2,06	4,29	3,86
T2			2,22	1,80
T3				-0,42
T4				

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Los resultados señalados con rosa (mayores a ω) corresponden a aquellos donde sí se encontraron diferencias significativas, mientras que el señalado con verde (menores a ω) es aquel que no mostró diferencia significativa. Por tanto es fácil concluir que el mejor tratamiento es el T1 con velocidad baja a 1 minuto con un rendimiento de $24,59\% \pm 0,310$, lo que concuerda con lo mencionado por Aristizábal y Sánchez (2007, p.50) debido a que se puede diferenciar una disminución en el rendimiento de la extracción de almidón al subir la velocidad y aumentar el tiempo de licuado, lo que puede suponer un licuado es demasiado fino con los tratamientos 3 y 4, por lo que los gránulos sufren daño físico y posteriormente deterioro enzimático, esto conlleva a que la sedimentación sea más lenta por el tamaño del gránulo fino (CIAT, 1995; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.50).

En el Gráfico 3-3 se muestra 4 diagramas de caja y bigote, una para cada tratamiento efectuado. La parte rectangular de color gris representa el 50% de las muestras, siendo la línea que la divide la mediana de cada muestra y el signo más (+) la media; del mismo modo los bigotes se extienden hacia los valores mínimos y máximos de la muestra. Como se puede visualizar, el Tratamiento 1 es aquel con menor dispersión (Gráfico 4-3) y con mayor rendimiento, mientras que el Tratamiento 4 posee el mayor rango de dispersión (Gráfico 4-3) y menor rendimiento. Los valores agrupados dan a entender que las repeticiones del procedimiento aplicado para la extracción del almidón nativo fueron similares, al contrario de los datos más dispersos quienes, quizá por razones del equipo y dureza de la materia prima, tuvieron valores más alejados de la media de su respectivo tratamiento. Este gráfico corrobora lo expuesto anteriormente, que el T1 es el mejor, con rendimientos entre 24,2 y 24,9 % aproximadamente.

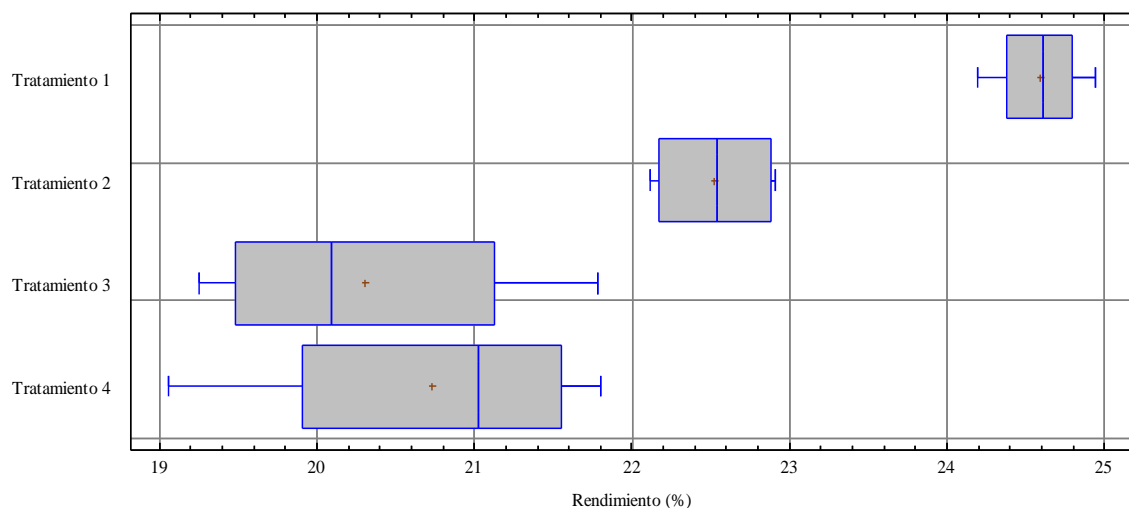


Gráfico 3-3. Cajas y Bigotes del rendimiento de extracción de almidón nativo de Yuca Amarilla

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2021

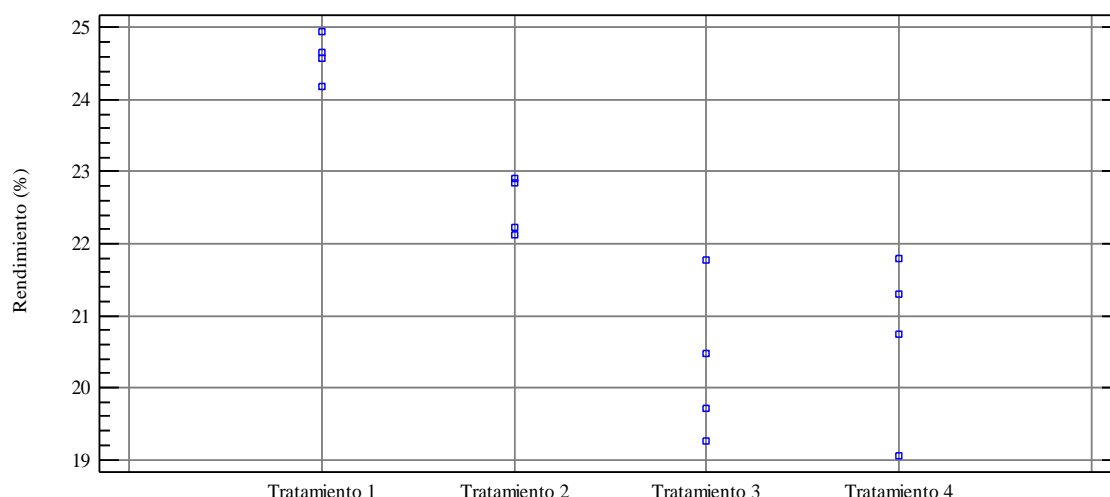


Gráfico 4-3. Dispersión del rendimiento de extracción de almidón nativo de Yuca Amarilla

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Para finalizar, y resumiendo, se realizó el proceso de extracción del almidón donde se obtuvo 1.5 Kg de almidón color blanco, es decir, un rendimiento del 24.59% con respecto a la yuca acondicionada (lavada y descortezada) (Tabla 21-3) en comparación al 10% que obtuvo Torrenegra et al. (2016) con un proceso similar de extracción de almidón. Trujillo (2014, p.56) obtiene un 25% de rendimiento utilizando el método de rallado de la yuca en paralelo al método de licuado que se utiliza en el presente proyecto de investigación. Del mismo modo Aristizábal y Sánchez (2007, p.50) obtienen un rendimiento entre 17-20% para la extracción del almidón con el mismo proceso de rallado.

Tabla 21-3: Resultado global de obtención de almidón de Yuca Amarilla

Yuca Amarilla total (Kg)	Yuca Amarilla descortezada (Kg)	Cáscara (Kg)	Almidón (Kg)	Rendimiento con respecto a la Yuca Amarilla descortezada (%)
8.5	6.1	2.4	1.5	24.59

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Como se puede apreciar, el tipo de yuca para la extracción de almidón varía según el autor, siendo yuca blanca para Trujillo (2014, p.5) y Torrenegra et al. (2016). Aristizábal y Sánchez (2007, pp.111-112) mencionan que las raíces amarillas son más aptas para dietas animales debido a que tienen alto contenido de caroteno (Iglesias et al., 1997; citado en Ospina y Ceballos, 2002, p.388), lo que reduce la necesidad de dicho suplemento en las dietas de varios sectores; mientras que las raíces blancas son las preferidas por la industria del almidón. Es decir que el uso de yuca de pulpa blanca en vez de la amarilla se debe al aprovechamiento de los carotenos presentes en esta última, lo que supone un ahorro a los sectores de alimentación humana y animal; esto no significa que dicha Yuca Amarilla no sea apta para la extracción de almidón, si no que más bien el uso de la yuca blanca

se da debido a que es la de mayor siembra, cultivo, mejor rendimiento y resistencia al deterioro fisiológico y microbiano, lo que supone una preferencia exportación en mercados nacionales e internacionales (Hinojosa et al., 1995a, p.14).

También se pueden notar diferencias en proceso de desintegración de la pulpa de yuca, rallado y licuado. En esta fase se separan los gránulos de almidón presentes en la yuca. Aristizábal y Sánchez (2007, p.49) mencionan que la eficiencia de esta operación determina en gran medida el rendimiento final del almidón en el proceso de extracción. Si el rallado es demasiado fino, los gránulos sufren daño físico y posteriormente deterioro enzimático, con esto también la sedimentación sería más lenta por el tamaño del gránulo fino. Por otra parte, si el rallado no es eficiente no se logran separar totalmente los gránulos, perdiendo almidón en el afrecho desechado (CIAT, 1995; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.50). Por ese motivo se realizó 3 lavados a los diferentes tratamientos realizados, elevando así el rendimiento del almidón obtenido.

3.1.2 Almidón nativo de Papa Yana Shungo

A partir de aproximadamente 4 Kg de materia prima se realizó un análisis sensorial y además se obtuvo 3 Kg de Papa Yana Shungo fresca, es decir, un total de 1 Kg de cáscara. En la Tabla 22-3 y 23-3 se presentan características relevantes de la materia prima.

Tabla 22-3: Análisis organoléptico de 5 muestras de Papa Yana Shungo

No.	PRODUCTO	
	Característica	
1	Olor	Dulce
2	Sabor	Dulce
3	Color de la pulpa	Amarillo y morado
4	Textura interna	Liso
5	Textura externa	Liso

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Tabla 23-3: Peso, longitud y diámetro promedio de 5 muestras de Papa Yana Shungo

No.	PAPA YANA SHUNGO		
	PESO (g)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)
1	200	6,50	18,90
2	170	7,30	16,60
3	185	7,20	18,20
4	150	8,10	17,10
5	160	7,90	17,70
PROMEDIO	173,00	7,40	17,70

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Seguido a ello, se realiza el proceso de extracción de almidón de Papa Yana Shungo mediante el diseño experimental descrito anteriormente (Tabla 9-2) para determinar el tratamiento que posee mayor rendimiento en cuanto al total de almidón obtenido, tal y como se muestra en la Tabla 24-3.

Tabla 24-3: Rendimiento de almidón de Papa Yana Shungo

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		DE TIEMPO SECADO (h)	
					PRODUCTO (g)	ALMIDÓN		R	PROMEDIO		
						R	PROMEDIO				TOTAL
1	T1	VEL B : 1min	R1	500	200	11,150	11,441	45,765	5,575	5,721	30
2			R2			10,983			5,4915		
3			R3			11,877			5,9385		
4			R4			11,755			5,8775		
5	T2	VEL B : 2min	R1			12,120	12,028	48,110	6,06	6,014	30
6			R2			12,450			6,225		
7			R3			11,755			5,8775		
8			R4			11,785			5,8925		
9	T3	VEL A : 1min	R1			13,454	12,781	51,122	6,727	6,390	30
10			R2			12,323			6,1615		
11			R3			12,785			6,3925		
12			R4			12,560			6,28		
13	T4	VEL A : 2min	R1			17,930	17,326	69,303	8,965	8,663	30
14			R2			16,983			8,4915		
15			R3			16,545			8,2725		
16			R4			17,845			8,9225		

Realizado por: Túquerres, A. 2020

A partir de los datos anteriores se realiza un análisis ANOVA para verificar si se rechaza o se acepta la hipótesis nula (Tabla 25-3, 26-3 y 27-3), y una prueba de Tukey para determinar si existen o no diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 28-3).

Tabla 25-3: Datos de rendimiento de almidón de Papa Yana Shungo necesarios para análisis ANOVA

Tratamientos	Velocidad Baja		Velocidad Alta	
	T1	T2	T3	T4
Rendimientos	5,575	6,060	6,727	8,965
	5,492	6,225	6,162	8,492
	5,939	5,878	6,393	8,273
	5,878	5,893	6,280	8,923
Promedio	5,721	6,014	6,390	8,663

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Tabla 26-3: Análisis de varianza de almidón de Papa Yana Shungo de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	T1	T2	Total
VEL B			
Cuenta	4	4	8
Suma	22,883	24,055	46,938
Promedio	5,721	6,014	5,867
Varianza	0,049	0,027	0,057
VEL A			
Cuenta	4	4	8
Suma	25,561	34,652	60,213
Promedio	6,390	8,663	7,527
Varianza	0,059	0,113	1,550
Total			
Cuenta	8	8	
Suma	48,444	58,707	
Promedio	6,055	7,338	
Varianza	0,174	2,065	

Realizado por: Aquiles Túquerres, 2021

Tabla 27-3: Análisis de varianza de Papa Yana Shungo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	11,014	1	11,014	177,611	1,49E-08	4,747
Columnas	6,583	1	6,583	106,157	2,59E-07	4,747
Interacción	3,918	1	3,918	63,188	4,01E-06	4,747
Dentro del grupo	0,744	12	0,062			
Total	22,260	15				

Realizado por: Aquiles Túquerres, 2021

Al ser la probabilidad de las interacciones menor a 0,05 (debido al nivel de confiabilidad) se rechaza la hipótesis nula, donde:

- H_0 (hipótesis nula): el rendimiento de extracción de almidón es igual en todos los tratamientos, con un 95% de confiabilidad.
- H_1 (hipótesis alternativa): el rendimiento de extracción de almidón es diferente al menos en un tratamiento, con un 95% de confiabilidad.

Es decir que al rechazar la hipótesis nula se acepta la hipótesis alternativa, por tanto, existe al menos un tratamiento que tiene un rendimiento estadísticamente diferente a los demás. Para concluir el análisis se realiza una prueba de Tukey para determinar si existe o no diferencias significativas entre los tratamientos. Para ello se necesita de HSD (Diferencia Honestamente Significativa) que se representa con ω , para verificar dicha diferencia. Se utiliza la Ecuación 11-3 y se siguen los mismos lineamientos, esta vez con las tablas 26-3 y 27-3. Una vez obtenido el dato de la HSD (ω) se compara con los valores de la tabla siguiente, que se obtuvieron a partir de la diferencia entre los promedios de los rendimientos de los cuatro tratamientos.

Tabla 28-3: Comparación entre tratamientos de obtención de almidón de Papa Yana Shungo mediante prueba Tukey

	T1	T2	T3	T4
T1		-0,29	-0,67	-2,94
T2			-0,38	-2,65
T3				-2,27
T4				

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Los resultados señalados con rosa (mayores a ω) corresponden a aquellos donde sí se encontraron diferencias significativas, mientras que el señalado con verde (menores a ω) es aquel que no mostró diferencia significativa. Por tanto, es fácil concluir que el mejor tratamiento es el T4 con velocidad alta a 2 minutos con un rendimiento de $8,66\% \pm 0,337$ debido a que es el que mostró mayor grado de diferencia en comparación con los demás tratamientos. En este caso los tratamientos con menor velocidad mostraron un rendimiento menor para el caso de la Papa Yana Shungo.

En la Gráfica 5-3 se muestra 4 diagramas de caja y bigote, una para cada tratamiento efectuado. La parte rectangular de color gris representa el 50% de las muestras, siendo la línea que la divide la mediana de cada muestra y el signo más (+) la media; del mismo modo los bigotes se extienden hacia los valores mínimos y máximos de la muestra. Como se puede observar, el Tratamiento 4 es el de mayor rendimiento y una dispersión, por motivo de escala, un poco superior a diferencia de los demás tratamientos (Gráfico 6-3). Estos datos agrupados significan que las repeticiones del procedimiento aplicado para la extracción del almidón nativo fueron similares, quizá por razones del equipo y materia prima más pulposa al tacto a diferencia de la otra fuente de extracción (Yuca Amarilla). Estos gráficos corroboran lo expuesto anteriormente, que el T4 es el mejor, con rendimientos entre 8,2 y 9 % aproximadamente.

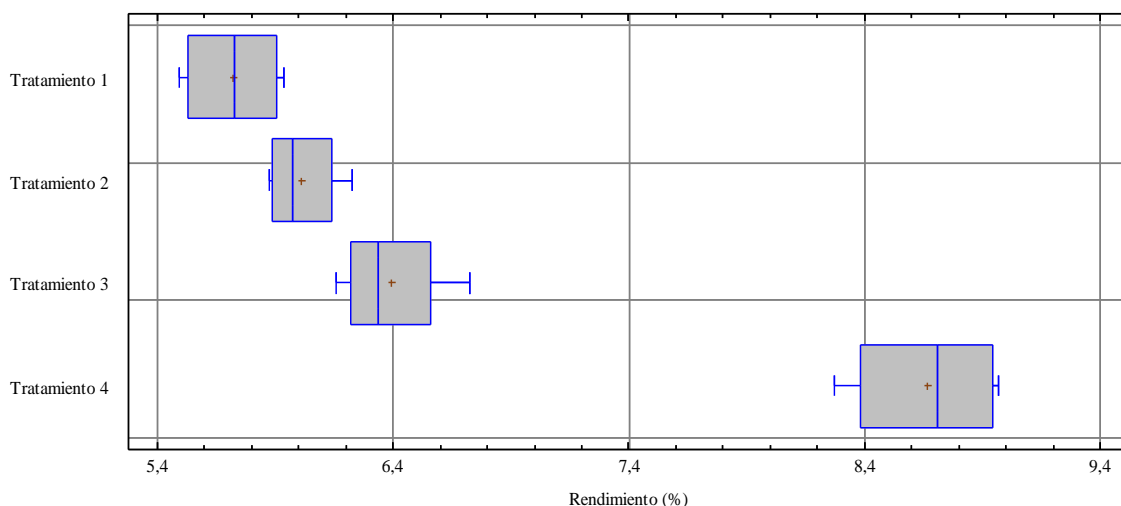


Gráfico 5-3. Cajas y Bigotes del rendimiento de extracción de almidón nativo de Papa Yana Shungo

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2021

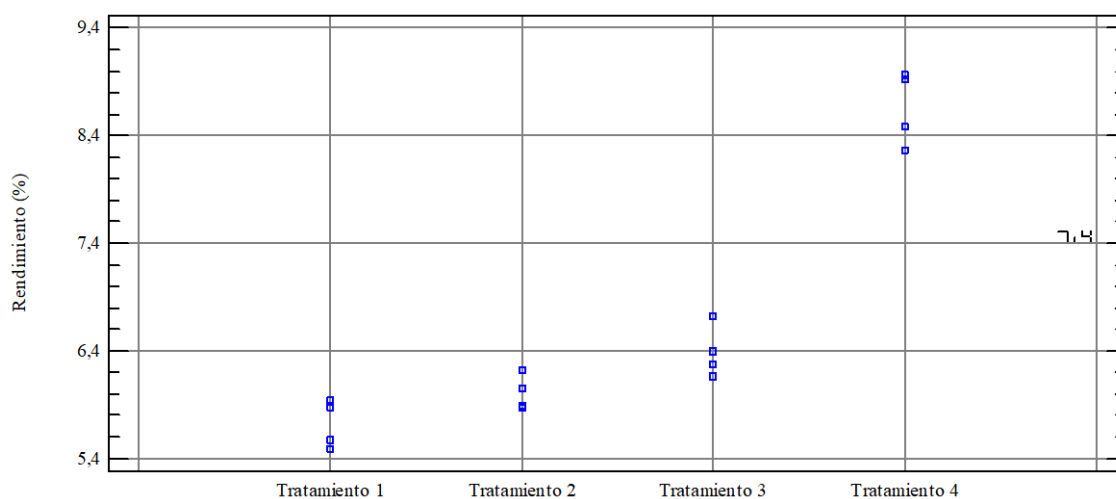


Gráfico 6-3. Dispersión del rendimiento de extracción de almidón nativo de Papa Yana Shungo

Fuente: StatPoint Technologies, 2010

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Resumiendo, y para finalizar, al realizar la extracción se tomó en cuenta el proceso mencionado por Holguin (2019, p.28), con el cual se obtuvo un total de 260 g de almidón color blanco ligeramente morado, esto quizá se deba al color característico de la pulpa de la Papa Yana Shungo (Tabla 29-3). Se obtuvo un rendimiento del 8,66% con respecto a la papa lavada y descortezada, valores que coinciden con Villalobos et al. (2014, p.269) que obtuvieron el 7-8% de rendimiento con papas obtenidos de un mercado en Guadalajara. Del mismo modo Melian (2010, p.41) menciona que obtiene un rendimiento del 8,18% y 8,64% de rendimiento a partir de dos metodologías diferentes en base húmeda. Estos valores son considerados regular-medianamente satisfactorios

si tomamos en cuenta que la papa tiene del 18-23% de almidón (Avedaño, 2009; citado en Villalobos et al., 2014, p.270). Zárate-Polanco et al. (2014, p.18) logran acercarse más a este porcentaje, mencionando que obtuvieron un 13% aproximadamente de rendimiento de extracción de almidón con una papa del grupo *Phureja*.

Tabla 29-3: Resultados de obtención de almidón de Papa Yana Shungo

Papa Yana Shungo total (Kg)	Papa Yana Shungo descortezada (Kg)	Cáscara (Kg)	Almidón (g)	Rendimiento con respecto a la Papa Yana Shungo descortezada (%)
4	3	1	260	8,66

Realizado por: Túquerres, A. 2020

Se puede notar que el tipo de papa para la extracción de almidón varía según el autor, siendo las papas Pachanga y Atlantis usada por Villalobos et al. (2014, p.269) además de una papa residual o de merma. Por otra parte Zárate-Polanco et al. (2014, p.1) utilizan papa criolla del grupo *Phureja* a diferencia de la papa del grupo *Andígena* utilizada en el presente proyecto de investigación. Melian (2010, p.31) es la autora con mayor variedad, con un total de 12 papas.

El proceso de desintegración de la pulpa de la papa es similar entre Arenas y Pedraza (2017, p.30) y Holguin (2019, p.28) los cuales se basan en la limpieza, cortado manual en cuadros y licuado de la papa y cuyos métodos fueron tomados en cuenta para la presente investigación, además de la realización de 3 lavados a los diferentes tratamientos realizados, elevando así el rendimiento del almidón obtenido.; mientras que Zárate-Polanco et al. (2014, p.5) utilizan primero una procesadora de vegetales para obtener cubos de 0,01m para su posterior licuado. Villalobos et al. (2014, p.268) usan un extractor comercial para uso doméstico, obteniendo así jugo de papa que contiene almidón que posteriormente se deja sedimentar. Melian (2010, p.41) propone, además del método de decantación, un método por centrifugación. Al comparar esos métodos se puede notar que el rendimiento de almidón de papa es similar entre todos, marcando una diferencia Zárate-Polanco et al. (2014, p.18) con un 13% de rendimiento, quien usa una procesadora para tener cubos más uniformes antes de licuar la papa.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

3.2.1 Caracterización del almidón nativo y modificado de Yuca Amarilla

3.2.1.1 Humedad

Los análisis de humedad de la muestra de almidón nativo dieron un promedio de 13,55%. De manera similar reportan otros autores como Álava et al. (2017, p.30) con un una media de 13,26%, Bonilla et al. (2014, p.136) que emplean un almidón con humedad de 14% aproximadamente y Trujillo (2014, p.59) con 12,77%.

Tabla 30-3: Porcentajes de humedad de yuca de diversos autores

Autor	Túquerres, 2021, p.53	Álava et al., 2017, p.30	Bonilla et al., 2014, p.136	Trujillo, 2014, p.59	Cárdenas et al., 2015, p.34
%humedad	13,55	13,26	13 - 15	12,77	11,66

Realizado por: Túquerres, A. 2021

En la Tabla 30-3 se puede apreciar una clara semejanza entre los autores mencionados con porcentajes de humedad entre 12 y 14%, existen otros como Cárdenas et al. (2015, p.34) que obtienen una humedad promedio de 11,66% en su almidón nativo de yuca blanca, e incluso valores inferiores como el de Alvis et al. (2008, p.22) con 7,8% de humedad.

La diferencia en la humedad de cada almidón se debe a la procedencia de la materia prima, el método de conservación y secado del almidón. Álava et al. (2017, p.28) y Bonilla et al. (2014, p.136) obtienen directamente el almidón por medio de muestreo de productores y municipios respectivamente, lo que puede explicar que el porcentaje de humedad de su almidón esté al límite del recomendado por varios autores, el cual varía entre 5,00 a 13,74 % (Alarcón y Dufour, 1998; Hoover, 2001; Sangeetha, 2006: citado en Alvis et al., 2008, p.21); esto lo reiteran los mismo autores Álava et al. (2017, p.38) quienes mencionan que la falta de infraestructura en la mayoría de los secaderos provoca que el porcentaje de humedad en su rango máximo estén por encima de las sugeridas, reduciendo la calidad física y microbiológica. Por otra parte, el almidón de yuca de Alvis et al. (2008, p.20) es suministrado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical, lo que supone que tenga un proceso de secado y conservación del almidón más riguroso, lo que explicaría que su almidón tenga una humedad considerablemente baja (7,8%). Del mismo modo Cárdenas et al. (2015, p.34) obtienen el almidón directamente, a partir de la variedad INIAP Portoviejo 650, y realiza el proceso de secado en un secador eco-tecnológico que en este caso es el punto que lo diferencia de los demás autores, obteniendo un porcentaje de humedad aceptable, dicho equipo llega a una temperatura máxima de 60°C, la cual alcanza de manera progresiva a lo largo del día. El autor que más se acerca al proceso de obtención y secado del almidón del presente trabajo de

investigación es Trujillo (2014, p.38), quien obtiene la Yuca Blanca en una localidad de Perú, asegurando que envasa el almidón después pasar por la estufa a 45°C durante 24h obteniendo una humedad de 12,77%.

En el caso del almidón modificado por acetilación se obtuvo una humedad considerablemente menor en comparación al almidón nativo, con un 8,85% de humedad. Por su parte, los análisis de Trujillo (2014, p.59) coinciden con la disminución de la humedad, en menor grado, en su almidón doblemente modificado, con un 12,55% en comparación con 12,77% del almidón nativo; del mismo modo Rached et al. (2013, p.87) menciona que existe un decrecimiento en el contenido de humedad al comparar su almidón de mapuey nativo y el acetilado. La disminución de humedad favorece al proceso de conservación del almidón modificado, pues sobre el 13% de humedad los mohos y levaduras pueden crecer con mayor facilidad aumentando la posibilidad de generar reacciones de fermentación, aumentando la acidez titulable y disminuyendo el pH del almidón Trujillo (2014, p.60); este límite máximo también es recomendado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, por lo tanto el almidón acetilado de Yuca Amarilla cumple con los requisitos mencionados por dicha norma (NTE INEN 2051:1995).

3.2.1.2 Ceniza

El porcentaje de ceniza en el almidón nativo de Yuca Amarilla es de 0,20%, valor que está cerca de los mencionados por Trujillo (2014, p.59) con 0,16% o Álava et al. (2017, p.31) que obtuvieron un 0,28% de ceniza en su almidón nativo.

Tabla 31-3: Porcentajes de ceniza de yuca de diversos autores

Autor	Túquerres, 2021, p.54	Trujillo, 2014, p.59	Álava et al., 2017, p.31	Alvis et al. 2008, p.22	Hernández- Medina et al. 2008, p.722
%ceniza	0,20	0,16	0,28	0,14	0,29

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Se puede notar que, según la Tabla 31-3, la Yuca Amarilla mostró una ceniza inferior a la del promedio de Álava et al. (2017, p.31) y Hernández-Medina et al. (2008, p.722), estos valores altos pueden deberse a un aumento en el contenido de minerales, como fósforo, en los almidones, influyendo así en el contenido final de cenizas (Hoover, 2002; citado en Alvis et al., 2008, p.22).

En el caso del almidón acetilado se obtuvo una ceniza de 0,11%, un descenso en comparación con el almidón nativo de Yuca Amarilla. Del mismo modo Trujillo (2014, p.59) con Yuca Blanca y Rincón et al. (2007, p. 289) con semilla de Fruto de pan obtienen un porcentaje de ceniza inferior del almidón acetilado en comparación al almidón nativo de sus materias primas, con valores de 0,16 a 0,03% y de 0,15 a 0,11% respectivamente. La reducción del contenido de materia

inorgánica puede deberse al proceso de modificación que degrada químicamente al almidón (Lawal y Adebowake, 2005; Lawal, 2004; citado en Rincón et al., 2007, p.291), razón con la que coincide Trujillo (2014, p.60). El Instituto Ecuatoriano de Normalización menciona que el límite máximo de ceniza es de 1%, por lo tanto, el almidón acetilado de Yuca Amarilla cumple con los requisitos mencionados por dicha norma (NTE INEN 2051:1995).

3.2.1.3 pH

Al medir a través del potenciómetro, el pH de la muestra de almidón nativo es de 6, valor que está acorde al rango entre 6-6,5 (ISI, 1999; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.89). Almidones de fuentes diferentes, como maíz y arracacha, obtienen valores similares de 6 y 6,7 respectivamente (Carrascal, 2013, p.45), sin embargo, para la yuca blanca, otro autor reporta 5,4 de pH para el almidón, estando por debajo del registrado en la presente investigación (González y Pérez, 2003; citado en Busnego, 2013, p.59).

Por otro lado, 5,75 es el pH del almidón acetilado, que puede deberse a la adición final de HCl, ya que al disminuir el pH se detiene la reacción debido a que la esterificación por acetilación del almidón se desarrolla en medios básicos (Korhonen et al., 2004; citado en Holguin, 2019, p.61).

3.2.1.4 Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua

Estos tres ensayos se realizan al aplicar el método descrito por diversos autores (Anderson et al. 1969; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73) donde se obtiene datos a los cuales se aplican a las Ecuaciones 3, 4 y 5 del capítulo 2, cuyos resultados se describen en la Tabla 32-3.

Tabla 32-3: Resultados de índice de solubilidad, poder de hinchamiento e índice de absorción de agua de almidón de Yuca Amarilla

Ensayo Muestra	ISA (%)	PH (g/g)	IAA (%)
Almidón Nativo	0,73	2,79	2,78
Almidón Acetilado	3,76	7,04	6,92

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Los datos obtenidos del almidón nativo son inferiores si se compara con los reportados por Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.793), quienes mencionan tener 3,38% de PH y 3,54% de IAA en su almidón nativo de yuca, mientras que en el caso de la solubilidad el autor se encuentra por debajo de la presente investigación, con 0,015% de ISA. La autora que más se acerca a los datos investigados es Flores (2004, p.80) que mediante su maestría reporta un IAA de 2,1% y un ISA de 1% aproximadamente.

Se puede notar un claro aumento de estos tres parámetros al comparar el almidón nativo y el acetilado de Yuca Amarilla, siendo esto una de las características de la modificación química del almidón (Garg et al., 2011; citado en Carrascal, 2013, p.9). Este incremento también lo reportan Salcedo-

Mendoza et al. (2016, p.793) con almidón de yuca con diferentes tiempos de reacción para la acetilación, Busnego (2013, p.74) al comparar el almidón nativo y acetilado de arroz, y Tupa (2019, p.142) a través de su investigación donde, incluso, realiza dos procesos de acetilación diferentes. La razón de este aumento es que al introducir los grupos acetilos se provoca un desorden intergranular por el impedimento estérico, es decir que impide o retarda la acción de otra molécula que, en este caso, son los puentes de hidrógeno, de esta manera se vuelve más sencillo el ingreso de agua a la zona amorfa y consecuentemente un aumento en estas tres parámetros (Singh y Singh, 2005; citado en Rincón et al., 2007, p.292). Estas tres propiedades se relacionan de manera que el proceso de absorción del agua (IAA) provoca un aumento en la masa del almidón (PH), todo ello debido al incremento de la temperatura, lo que a su vez causa la pérdida de estructura de la molécula de almidón liberando del interior del gránulo la amilosa (medida a través del ISA), es decir que se solubilizan sus constituyentes (Meaño et al., 2014, p.185). Estos parámetros van a depender de varios factores como el tamaño del gránulo, el arreglo intragranular de la estructura química y la temperatura que se le aplica a la solución de almidón a analizar (Chen et al., 2003; citado en Rincón et al., 2007, p.291).

3.2.1.5 *Proteína*

Tras realizar el procedimiento sugerido por laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias, ESPOCH en el equipo de Macro Kjeldahl se obtuvo un valor de 0,64%, el cual está acorde a las tres variedades de yuca analizadas por Alvis et al. (2008, p.22) quienes tienen un valor promedio de 0,60% y a la investigación hecha por Ruiz (2005, p.24) quien menciona un 0.5% en sólido seco. Existen otros autores como Hernández-Medina et al. (2008, p.722) o Knowles et al. (2012, p.490) quienes reportan porcentajes de 0,06 y 3,2 respectivamente. El contenido de proteína depende de la variedad y del suelo donde se cultive.

Para el caso del almidón acetilado se obtuvo un valor de 0,32% siendo menor al almidón nativo. Trujillo (2014, p.59) también reporta un descenso en el porcentaje de proteína después del proceso de doble modificación química de Yuca Blanca, del mismo modo autores como Rincón et al. (2007, p.289) y Busnego (2013, p.55) con distintas fuentes de almidón reconocen una disminución de este parámetro. Al comparar los datos obtenidos del presente estudio con el Instituto Ecuatoriano de Normalización, se puede verificar que el almidón acetilado de Yuca Amarilla no está acorde al porcentaje mínimo de proteína requerido en alimentos (harina) (NTE INEN 2051:1995), aunque esto no es necesariamente negativo, debido a que el almidón del presente estudio no está destinado a alimentación, si no a ser una cobertura de los mismos; además la proteína residual presente en el almidón puede causar un sabor harinoso y una predisposición a generar espuma (Ospina y Ceballos, 2002, p.29).

3.2.1.6 *Grasa y fibra*

El contenido de grasa presente en la muestra de almidón nativo de Yuca Amarilla es de 0,18% lo que concuerda con lo mencionado por Aristizábal y Sánchez (2007, p.35) quienes afirman que el

contenido de lípidos del almidón de yuca es muy bajo comparado con otras fuentes (como arroz y maíz). El porcentaje de grasa investigada en el presente estudio está por debajo de lo mencionado por Alvis et al. (2008, p.22) y Hernández-Medina et al. (2008, p.722) quienes registran 0,30 y 0,20 respectivamente. El bajo índice de grasa podría explicar también el alto valor de viscosidad, pues su presencia en cantidades altas puede afectar las propiedades reológicas del almidón, disminuyendo la viscosidad de la pasta (Melian, 2010, p.49).

Al determinar el porcentaje de lípidos en la muestra de almidón acetilado se pudo notar una disminución de este, obteniendo una cantidad de 0,08%. Del mismo modo otros autores como Trujillo (2014, p.59) con almidón de Yuca Blanca y Busnego (2013, p.55) con almidón de arroz mencionan tener una disminución en el contenido graso del almidón modificado con respecto al nativo, lo que puede deberse a la adición de los grupo acetilo a la molécula causando una degradación de las mismas (Adebawale et al., 2002; Parovuori et al., 1995; citado en Trujillo, 2014, p.60).

Para el contenido de fibra en el almidón nativo y acetilado se requirió de desengrasar el almidón, es decir que la muestra del proceso anterior se usa para determinar el porcentaje de esta sustancia no digerible. Al realizar el proceso se obtuvo no se pudo cuantificar el valor debido a la casi nula existencia del mismo, por lo que se puede considerar un resultado $< 0,001$. Algunos autores como Alvis et al. (2008, p.22) y Trujillo (2014, p.59) obtuvieron de igual manera valores bajos de fibra, entre 0,04 - 0,05 en las 3 variedades de yuca que analiza el primer autor y 0,008 para almidón nativo yuca del segundo literato. Para el caso del almidón acetilado tampoco se pudo registrar un valor debido a que este proceso de modificación disminuye el porcentaje de fibra, tal y como mencionan Trujillo (2014, p.59) con almidón de Yuca Blanca y Rincón et al. (2007, p.289) para sus respectivos almidones nativos y modificados, llegando casi hasta un porcentaje incuantificable. Para el caso de ambos parámetros, sí se cumplen con los requerimientos mencionados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, siendo 2% y 1% como máximo en Grasa y Fibra respectivamente (NTE INEN 2015:1995).

3.2.1.7 Viscosidad

La viscosidad del almidón nativo de Yuca Amarilla se midió en 30330 cP, con un 50% de medición a través de la aguja N°4. La mayoría de autores reportan valores muy cercanos al rango que varía entre 800-1500 cP (ISI, 2002; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.66), tales como Enríquez et al. (2013, p.24) con la variedad de yuca CM 7138-7 con 1100 cP, Hernández-Medina et al. (2008, p.724) que registran 1029 cP y Quintero et al. (2013, p.29) con 1553.7 cP; sin embargo Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.793) obtienen un valor de 2470 cP. El valor registrado en la presente investigación puede deberse a la variedad de yuca analizada que, a comparación de la yuca blanca, ha sido poco estudiada y podría tener aplicaciones en la industria por su alta viscosidad, por ejemplo como espesante (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.45); además de que posee una baja relación amilosa/amilopectina, lo que explicaría la alta viscosidad.

Por otra parte, la viscosidad del almidón modificado químicamente resultó en 7732 cP al ser medida con la aguja N° 4 con el 61,4% de medición, siendo menor al del almidón nativo. La capacidad de aumentar o disminuir la viscosidad después de un proceso de modificación, está sujeta a la procedencia de la fuente de almidón y al nivel de acetilación alcanzado. Por ejemplo para el caso de aumento de viscosidad, Busnego (2013, p.78) reporta un incremento a la par del grado de sustitución y afirma que uno de los parámetros que influye en la viscosidad es el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón, entonces al existir una desorganización molecular por a la incorporación de grupos acetilo, hay una mayor absorción del agua y poder de hinchamiento y, por lo tanto, un aumento en los valores de viscosidad en almidón acetilado (Busnego, 2013, pp.83-84). En el proceso de disminución de viscosidad, Tupa (2019, p.151) menciona un descenso en la viscosidad aparente del almidón acetilado al comparar con almidón nativo y afirma que se debe a la incorporación de grupos acetilo en el almidón, lo que obstaculiza los lineamientos paralelos de las cadenas de amilosa y que a su vez limita la generación de una consistencia viscosa en la pasta en comparación al almidón nativo (Colussi et al., 2014; citado en Tupa, 2019, p.151); es decir que el segundo caso es el que está acorde a lo registrado en la presente investigación.

3.2.1.8 Temperatura de gelatinización

Se pudo verificar que la temperatura a la que se gelatiniza el almidón nativo de Yuca Amarilla es de 64°C, dato que está acorde a lo mencionado por Hernández-Medina et al. (2008, p.722) y García et al. (2013, p.18) quienes obtienen una temperatura de 65,2 y 62,83 °C respectivamente con Yuca Blanca. El rango en el que se encuentra la temperatura de gelatinización de la yuca es entre 57,5-70°C (Grace, 1977; citado en Aristizábal y Sánchez 2007, p.72), referencia que también menciona Ospina y Ceballos (2002, p.30) añadiendo que este almidón se gelatiniza como el almidón de arroz y maíz ceroso a temperaturas relativamente bajas.

Al medir el valor del almidón acetilado existe una pequeña disminución en la temperatura de gelatinización, tal y como se esperaba, bajando de 64°C a 61°C aproximadamente; dicha disminución también reporta Carrascal (2013, p.38) con almidón acetilado de Arracacha. Esto se debe a que el almidón acetilado causa una disminución en la temperatura de gelatinización, retardo en la retrogradación y mejora en la estabilidad térmica (Salcedo-Mendoza, 2016, p.788); esto se explica por el daño sufrido por el gránulo, lo que indica una desorganización de la doble hélice de la amilopectina, disminuyendo la tensión de los grupos –OH en los almidones sin modificar, lo que resulta en una eventual pérdida de la región cristalina que conduce a que se hidrate y gelatinice más fácilmente los almidones modificados y por consiguiente una disminución en la temperatura de gelatinización (Ali y Hasnain, 2015; Núñez-Santiago, 2010; Singh, 2004; Wang y Wang, 2002; citado en Martínez et al., 2019, p.347) (Diop, 2011; citado en Sulbarán et al., 2018, p.266).

3.2.1.9 Amilosa y amilopectina

Al realizar el análisis descrito anteriormente, se pudo determinar que la amilosa está presente en un 7,4% y la amilopectina en 92,6%, mientras que para el almidón modificado se registra un aumento de amilosa con 17,1% y reducción de amilopectina con 82,9%. El porcentaje de amilosa presente en el almidón nativo explicaría por qué se obtuvo un alto valor de viscosidad, pues los almidones que contienen un alto contenido de amilopectina aumentan su viscosidad al elevar la temperatura por encima de la temperatura de gelatinización, por el carácter ramificado que posee el polímero mencionado (Bello y Tovar, 2001; citado en Prieto-Méndez et al., 2009, p.117). Es decir que al tener un porcentaje de amilopectina alto, la relación amilosa/amilopectina disminuye, por lo tanto la viscosidad aumenta en la suspensión de almidón (Tabla 33-3) (Villada, 2005; citado en Enríquez et al., 2013, p.24).

Tabla 33-3: Contenido y relación amilosa/amilopectina de almidón nativo de Yuca Amarilla

MUESTRA	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)	RELACIÓN AMILOSA/AMILOPECTINA
Nativo	7,4	92,6	0,08
Acetilado	17,1	82,9	0,21

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Este aumento en el contenido de amilosa también lo reportan Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.790) en Yuca al permitir un tiempo de reacción de 10 y 240 minutos con 3 ml de Anhídrido Acético. Este incremento es a causa de la degradación hidrocatalítica heterogénea que posiblemente se da a temperaturas superiores a 45 y 55°C, lo que resulta en una despolimerización de la amilopectina y consecuente formación de fragmentos lineales (Betancur y Chel, 1997; citado en Flores, 2004, p.66).

3.2.1.10 Microbiológico

Se realizó análisis microbiológicos para la determinación de mohos, hongos, levaduras y coliformes según lo mencionado por el Laboratorio de Parasitología de la Facultad de Ciencias. Dichos análisis no reportaron la existencia de mohos, levaduras ni hongos en las Cajas Petri sembradas con diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} (ANEXO H.), por tanto, puede presentarse que el número estimado de UP de mohos o levaduras/g $< 1,0 \cdot 10^1$ (NTE INEN 1529-10:2013). En el caso de los coliformes totales tampoco se evidenció la presencia de estas bacterias en las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} , debido a que no se produjo gas (ANEXO F.) por la fermentación de la lactosa (NTE INEN 1529-6:1990), es decir que puede presentarse que el estimado de coliformes/g $< 1,0 \cdot 10^1$ UFC (NTE INEN 1529-7:2013). Por lo tanto, el almidón acetilado de Yuca Amarilla, al estar por debajo del límite máximo permitido, cumple con los requisitos microbiológicos mencionados en la Normativa Técnica Ecuatoriana para mohos, levaduras, hongos y coliformes (NTE INEN 2051:1995).

3.2.2 Caracterización del almidón nativo y modificado de Papa Yana Shungo

3.2.2.1 Humedad

Para el caso del análisis de humedad se realizó pruebas a la muestra de almidón nativo, las cuales dieron un promedio de 14,63%. Melian (2010, p.64) por su parte reporta un resultado inferior con 11,47% de humedad como valor máximo entre sus variedades de papa, mientras que Villalobos et al. (2014, p.270) una humedad muy superior con 17%.

Tabla 34-3: Porcentajes de humedad de papa de diversos autores

Autor	Túquerres, 2021, p.60	Melian 2010, p.64	Villalobos et al. 2014, p.270	Trujillo, 2014, p.59	Arenas y Pedraza (2017, p.60)	Alvis et al. (2008, p.22)
%humedad	14,63	11,47	17	12,77	45,45	8,5%

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Como se puede notar en la Tabla 34-3 existen datos muy dispares entre autores, sobre todo el de Arenas y Pedraza (2017, p.60) quienes explican que el alto contenido de humedad en su almidón se debe a que este es considerado como un residuo en la comercializadora de donde lo obtuvieron dichos autores (Arenas y Pedraza, 2017, p.90); a pesar de ello también existen artículos de revista que mencionan que en sus variedades de papa tienen, por ejemplo, un contenido de humedad (%) entre 14,15 y 15,62 (Martínez et al., 2015, p.295), lo cual es mucho más cercano al obtenido en la investigación actual. Mientras tanto Alvis et al. (2008, p.22) son quienes tienen el menor contenido de humedad en su almidón de papa variedad ICA-Nariño, lo cual es una ventaja al momento de almacenar el mismo. Aun así, es claro que la mayoría posee una humedad relativamente alta, lo que supone un riesgo para la calidad del almidón debido a que aumenta la posibilidad de que estos alberguen colonias de mohos o levaduras. Una humedad aceptable no debe ser mayor a 14% (CIAT, 2002; Hinostroza et al., 1995; INIAP, 2005, 2008; citado en Cárdenas et al., 2015, p.34) para así evitar el crecimiento de estas colonias mencionadas.

Para el caso del almidón acetilado se obtuvo un valor de 12,11%, estando aproximadamente 2% por debajo del almidón nativo. De la misma manera Bello-Pérez et al. (2002, p.175) afirma tener una disminución en el contenido de humedad del almidón acetilado en relación al almidón nativo de plátano macho. El límite máximo permitido por el Instituto Ecuatoriano de Normalización es de 13% para humedad, por lo tanto, el almidón acetilado de Papa Yana Shungo cumple con los requisitos mencionados por dicha norma (NTE INEN 2051:1995). Además esto resulta favorable, pues evita la posibilidad de generar reacciones de fermentación, aumentando la acidez titulable y disminuyendo el pH del almidón Trujillo (2014, p.60).

3.2.2.2 Ceniza

Del mismo modo se realizó pruebas por triplicado para el análisis de la humedad, el cual resultó en 0,42% para el almidón nativo de Papa Yana Shungo. Melian (2010, p.50) obtiene datos similares en las 12 variedades de papa que analiza y en los dos métodos de extracción de almidón, donde para el proceso de centrifugación obtiene valores que fluctúan entre 0,14% y 0,27% mientras que para el proceso de decantación entre 0,10% y 0,67%. Del mismo modo reporta Alvis et al. (2008, p.22) con un contenido de ceniza de 0,44% para su almidón de papa variedad ICA-Nariño. En la Tabla 35-3 se muestra de mejor manera dichos resultados.

Tabla 35-3: Porcentajes de ceniza de papa de diversos autores

Autor	Túquerres, 2021, p.61	Melian, 2010, p.50		Alvis et al. 2008, p.22	Vargas et al., 2016, p.227	Acosta et al. 2018, p.8
		Centrifugación	Decantación			
%ceniza	0,42	0,14 - 0,27	0,10 - 0,67	0,44	0,43	0,50

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Melian (2010, p.51) menciona que en las variedades 4 y 5 existe una marcada diferencia entre el método de decantación y el de centrifugación, siendo este último el mejor en cuanto a ceniza corresponde. Los demás autores poseen una media de porcentaje de ceniza aceptable e incluso similar, tomando en cuenta que cada uno hizo dicho análisis con almidón de diversas variedades de papa. Por otra parte al tener el porcentaje de ceniza mayor a 0,4% e inferior al 3% se recomienda el uso del almidón nativo en la industria, debido al contenido de fósforo, lo que permite una reducción en la tasa de gelatinización, claridad en la pasta y mejora el proceso de hinchamiento de las moléculas (Vargas et al., 2016; citado en Acosta et al., 2018, p.9).

En el caso del almidón modificado se obtuvo un valor de 0,25% de ceniza, existiendo una reducción en comparación al contenido de materia inorgánica del almidón nativo. Este porcentaje está acorde a lo permitido por el INEN, mencionando que el límite máximo de ceniza es de 1%, por lo tanto, el almidón acetilado de Papa Yana Shungo cumple con los requisitos mencionados por dicha norma (NTE INEN 2051:1995). Del mismo modo otros autores como Rached et al. (2013, p.87), Bello- Pérez et al. (2002, p.175) y Busnego (2013, p.55) reportan una disminución en el contenido de ceniza en relación al almidón nativo, y se alega que esto se debe a que en el proceso de modificación existe degradación a nivel químico (Lawal y Adebawake, 2005; Lawal, 2004; citado en Rincón et al., 2007, p.291), razón con la que coincide Trujillo (2014, p.60).

3.2.2.3 pH

El pH de la muestra de almidón nativo es de 6,25, valor que está acorde al rango entre 6-6,5 (ISI, 1999; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.89), a diferencia del almidón de papa de Arenas y Pedraza

(2017, p.105) quienes mencionan que este almidón posee un valor de 4,28. Almidones de fuentes diferentes, como maíz, obtienen valores similares al de la presente investigación, con un 6 en el pH (Carrascal, 2013, p.45).

Por otro lado, el pH del almidón acetilado disminuye hasta 5,80, del mismo modo otros autores con almidones de diferentes fuentes, como Rincón et al. (2007, p.289) y Rached et al. (2013, p.87), mencionan una disminución en el pH al comparar el almidón nativo con el acetilado. Esto puede deberse a residuos de reactivos en el proceso de acetilación, en este caso de la adición final de HCl, ya que al disminuir el pH se detiene la reacción debido a que la esterificación por acetilación del almidón se desarrolla en medios básicos (Korhonen et al., 2004; citado en Holguin, 2019, p.61).

3.2.2.4 Poder de hinchamiento, índice de solubilidad y absorción de agua

Al realizar el procedimiento descrito por diversos autores (Anderson et al., 1969; Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73) se obtienen datos a los cuales se aplican a las Ecuaciones 3, 4 y 5 del capítulo 2 cuyos resultados se muestran en la Tabla 36-3.

Tabla 36-3: Resultados de índice de solubilidad, poder de hinchamiento e índice de absorción de agua de almidón de Papa Yana Shungo

<i>Ensayo</i> <i>Muestra</i>	ISA (%)	PH (g/g)	IAA (%)
Nativo	6,32	3,14	3,06
Acetilado	12,71	11,53	10,61

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Los valores obtenidos de estos tres ensayos, con respecto al almidón nativo, son menores en el IAA y PH si se compara con la investigación de Solarte-Montúfar et al. (2019, p.39) quienes analizan 3 variedades de papa con 7,93 y 8,07% respectivamente, mientras que para la solubilidad los autores reportan un valor inferior al del presente estudio, con 1,79%. Otros como Acosta et al. (2018, p.12) reportan valores más cercanos a los ensayos realizados, siendo el almidón de la variedad Superior el que más se acerca con respecto al ISA y al IAA con 5,11 y 3,69% respectivamente; mientras que para el PH la variedad Parda es la más próxima, con 3,63%.

En el caso del análisis realizado al almidón acetilado se puede notar un claro aumento de estos tres parámetros al comparar con el almidón nativo; esta una de las particularidades de la modificación química del gránulo de almidón (Garg et al., 2011; citado en Carrascal, 2013, p.9). Este incremento también lo mencionan Martínez et al. (2019, p.345) quien reporta para la variedad de papa Única, Arenas y Pedraza en almidón de papa (2017, p.77-78) y Rincón et al. (2007, p.290) al analizar almidón nativo y acetilado de semilla de Fruto Pan.

El motivo del incremento es que al ejecutar el proceso de acetilación se introducen grupos acetilo, lo que conduce a un desorden intergranular por el impedimento o retardo de la acción de otra molécula que, en este caso, son los puentes de hidrógeno, facilitando el ingreso de agua a la zona

amorfa lo que se expresa en un aumento de estos tres parámetros (Singh y Singh, 2005; citado en Rincón et al., 2007, p.292).

La cuantía de estos ensayos van a depender de varios factores, entre ellos la temperatura a la cual se realiza el estudio, el tamaño del gránulo de almidón y el arreglo intragranular de su estructura química (Chen et al., 2003; citado en Rincón et al., 2007, p.291). Sin embargo, estas tres propiedades se relacionan entre sí: existe un aumento en la masa del almidón (PH) debido al proceso de absorción de agua (IAA) por los grupos hidroxilo, que es causado por un aumento de la temperatura que a su vez ocasiona la pérdida de estructura del gránulo liberando del interior del molécula de almidón la amilosa, es decir que se solubilizan sus constituyentes (ISA) (Meaño et al., 2014, p.185).

3.2.2.5 *Proteína*

Al realizar el procedimiento sugerido por laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias, ESPOCH en el equipo de Macro Kjeldahl se obtuvo un valor de 0,48%. Vargas et al. (2016, p.227) obtiene un valor muy cercano, mencionando un porcentaje de 0,47 para el almidón nativo de la variedad de papa Única, mientras que Melian (2010, p.48) a través de su investigación de 12 variedades de papa reporta valores que fluctúan entre 0,12-0,59%, siendo la variedad Desireé la más cercana con aproximadamente 0,43%. Otros autores, sin embargo, se salen de este rango con valores de 0,62 o 0,65 como reportan Alvis et al. (2008, p.22) y Espinoza (2012, p.14) respectivamente. Esta variación se debe al hecho que el contenido de proteína depende de la variedad y del suelo donde se cultive el tubérculo.

Para el caso del almidón modificado se obtuvo un valor de 0,16% siendo menor al almidón nativo. Vargas et al. (2016, p.227) menciona que también existe un descenso en el porcentaje de proteína después del proceso de acetilación del almidón de la variedad de papa Única; del mismo modo autores con fuentes de almidón diferentes mencionan una disminución en el contenido de proteínas con respecto a sus almidones nativos (Lawal, 2004; citado en Carrascal 2013; Rincón et al., 2007, p.289). A pesar de que el presente estudio no cumple con el porcentaje mínimo de proteína requerido en alimentos (harina) (NTE INEN 2051:1995) mencionado por el INEN, no significa que sea necesariamente negativo, debido a que el almidón del presente estudio no está destinado a alimentación, si no a ser una cobertura de los mismos. Melian (2010, p.47) menciona, además, que el tener un contenido de proteína alto modifica las propiedades físicas de las pastas de almidón permitiendo que estas tiendan a espumar e influyendo en su viscosidad.

3.2.2.6 *Grasa y fibra*

En porcentaje presente en el almidón nativo resultó en 0,25 para la Papa Yana Shungo, lo que concuerda con lo mencionado en la literatura, pues la papa tiene un bajo contenido de grasas (Pardo et al., 2013; citado en Solarte-Montúfar et al., 2019, p.36). Diversos autores, sin embargo, afirman tener un porcentaje mayor, como es el caso de Alvis et al. (2008, p.22) con 0,35% o Vargas et al. (2016, p.227) 0,30; por otra parte Hernández-Medina et al., (2008, p.722) y Melian (2010, p.49) poseen variedades

con los valores más bajos de 0,05% y entre 0,01-0,11% respectivamente, siendo esta última quien investiga 12 variedades de papas.

Al determinar los lípidos en la muestra de almidón modificado se pudo notar una clara disminución del mismo, obteniendo una cantidad de 0,1%. De igual manera otros autores como Vargas et al. (2016, p.227) con almidón de papa y Busnego (2013, p.55) con almidón de arroz reportan el mismo descenso con respecto al almidón nativo. Lo más probable es que se deba a la adición de los grupo acetilo a la gránulo causando una degradación en su estructura (Adebowale et al., 2002; Parovuori et al., 1995; citado en Trujillo, 2014, p.60).

El contenido de fibra se realiza a continuación del ensayo de grasa, puesto que para determinar el porcentaje de esta sustancia no digerible se necesita una muestra desengrasada. Aun así no se pudo cuantificar este porcentaje debido a la casi nula existencia del mismo, aunque algunos autores mencionan que su porcentaje varía entre 0,05 y 0,1 (Alvis et al., 2008, p.22) por lo que se considera que la variedad de papa analizada en el presente estudio tiene un porcentaje menor a 0,05. Del mismo modo, resultó dificultoso examinar dicha muestra para determinar el contenido de fibra del almidón acetilado debido a que, como mencionan algunos autores con diferentes fuentes de almidón, el proceso de modificación disminuye el porcentaje de fibra (Trujillo, 2014, p.59; Rincón et al., 2007, p.289).

Para el caso de ambos parámetros sí se cumplen con los requerimientos mencionados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, siendo 2% y 1% como máximo en Grasa y Fibra respectivamente (NTE INEN 2051:1995).

3.2.2.7 Viscosidad

Al medir la viscosidad de Brookfield mediante el equipo del mismo nombre, se pueden registrar un valor de 15732 cP, al medirse con un 26% y aguja N°4, para el almidón nativo. La viscosidad de la papa depende mucho de la variedad, es así que se han encontrado valores muy dispares, como es el caso de Vargas et al. (2016, p.229) que mencionan que su papa posee 25000 cP de viscosidad aparente, Alvis et al. (2008, p.23) con 1428 cP, Martínez et al. (2019, p.248) con 3065 cP. Incluso este último autor, años anteriores, realiza una investigación con algunas variedades de papas nativas *Solanum phureja* registrando valores desde 5468 cP hasta 33080 cP, siendo 9107cP de la variedad de papa Solischa el valor más cercano a la presente investigación (Martínez et al., 2015, p.297).

Tras realizar el proceso de acetilación, la viscosidad de la Papa Yana Shungo disminuyó a 12520 cP al medirse al 20,7% con aguja N°4. La capacidad de aumentar o disminuir la viscosidad después de un proceso de modificación, está sujeta a la procedencia de la fuente de almidón y al nivel de acetilación alcanzado en el proceso. Por ejemplo en el proceso de aumento de viscosidad, Prieto-Méndez et al. (2010, p.38) mencionan que el pico de viscosidad de su almidón nativo se encuentra por debajo de los almidones tratados que el autor modifica a partir de Anhídrido Acético y Vinil Acetato. Este comportamiento puede deberse a los grupos acetilo que se introdujeron en

la molécula de almidón, disminuyendo la magnitud y la naturaleza de la fuerza que mantiene estable la red intragranular, con lo que se produce mayor lixiviación de amilosa al medio que lo rodea (Singh, 2007; citado en Rincón et al., 2007, p.292). En el caso de disminución de viscosidad, Martínez et al. (2019, p.348) afirman que para la variedad de papa estudiada en su investigación existe una reducción de la viscosidad conforme aumenta el grado de sustitución de los grupos acetilo en la molécula. Esto pudo deberse al rompimiento de los enlaces glucosídicos de almidón reduciendo así el peso molecular de quienes componen la estructura y por consiguiente un descenso en capacidad de hinchamiento de los gránulos (Mulhbacher, 2004; citado en Carrascal, 2013, p.36).

3.2.2.8 *Temperatura de gelatinización*

Al medir la temperatura usando el método descrito por varios autores (Grace, 1977; citado en Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72) se obtuvo un valor de 60°C para el almidón nativo. Espinoza (2012, p.20), Zárate-Polanco et al. (2014, p.18) y Acosta et al. (2018, p.12) mencionan algunas variedades de papa con temperaturas de gelatinización similares que varían entre 63 y 68 °C; dentro de las papas que más se acercan al parámetro de a la presente investigación son la variedad Superior, examinada por Acosta et al. y la variedad 180 UA 1020 registrada por Espinoza, ambas con una temperatura de 63°C aproximadamente.

Una de las ventajas de la acetilación, mencionan Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.788), es la disminución de la temperatura de gelatinización del almidón modificado y, tal y como se esperaba, se redujo y se obtuvo un valor de 54°C, bajando 6°C aproximadamente, corroborando así lo que mencionan Prieto-Méndez et al. (2010, p.33) quienes afirman que los almidones acetilados presentan 6-10°C menos en la temperatura de gelatinización, al comparar con el almidón nativo. Esta disminución permite reducir costos energéticos durante la fabricación de algún producto que utilice estos almidones modificados o algún otro proceso industrial que lo involucre (Mbougoung et al., 2012; citado en Martínez et al., 2019, p.347). Martínez et al. (2019, p.347) afirman tener un descenso en la temperatura de gelatinización de la papa al aumentar el grado de acetilación, bajando desde el almidón nativo hasta el que posee mayor grado de sustitución, 3 grados Celsius aproximadamente. Esto puede deberse a que el gránulo, al sufrir daños por los grupos acetilos presentes, provoca la interrupción de las hélices dobles de las zonas amorfas formadas por regiones ramificadas de amilopectina y amilosa (Ruiz, 2005, p.12), lo que conlleva a la disminución las tensiones de los grupos hidroxilos que existen en los moléculas de almidón nativo (Diop et al., 2011; citado en Sulbarán et al., 2018, p.266).

3.2.2.9 *Amilosa y amilopectina*

Se pudo determinar el porcentaje de amilosa y amilopectina, gracias al método descrito por Hassan et al. (Ortiz, 2019, p.25), en el almidón nativo, los cuales están presentes en 25,5 y 74,5% respetivamente, valores que concuerdan con varios autores (Alvis et al., 2008, p. 22; Martínez et al., 2015, p.295; Zárate-Polanco et al., 2014, p.18); mientras que para el almidón modificado se registra un aumento

en el contenido de estos polímeros, siendo 32,9% para amilosa y 67,1% de amilopectina (Tabla 37-3). El incremento de esta explicaría, de cierto modo, la disminución de la temperatura de gelatinización pues algunos autores reportan que sus almidones con altos contenido de amilosa poseen bajas temperaturas de gelatinización en relación a otras muestras y, de modo contrario, los que poseen altas temperaturas de transición poseen porcentajes bajos de amilosa (Saibene y Seetharaman, 2010; citado en Robles, 2012, p.20).

Tabla 37-3: Contenido y relación amilosa/amilopectina de almidón nativo de Papa Yana Shungo.

MUESTRA	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)	RELACIÓN AMILOSA/AMILOPECTINA
Nativo	25,5	74,5	0,34
Acetilado	32,9	67,1	0,49

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Martínez et al. (2019, p.343) también reportan un aumento porcentual en el contenido de estos polímeros conforme incrementa el volumen de Anhídrido Acético añadido a la reacción. Este crecimiento puede atribuirse al hecho de que los grupos acetilo insertados interfieren con la reagrupación de las fracciones de amilosa y amilopectina que se da en el proceso de enfriamiento de los gránulos de almidón que ha sido expuesto al proceso de gelatinización, creando de esta manera más segmentos lineales (amilosa) (Betanur et al., 1997; citado en Martínez et al., 2019, p.343).

3.2.2.10 Microbiológico

Se realizó análisis microbiológicos para coliformes totales no se evidenció la presencia de estas bacterias en las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} , debido a que no se produjo gas (ANEXO G.) por la fermentación de la lactosa (NTE INEN 1529-6:1990), por tanto, puede presentarse que el estimado de coliformes/g $< 1,0 \cdot 10^1$ UFC (NTE INEN 1529-7:2013). Al realizar los análisis para mohos y levaduras tampoco se reportó la existencia de estos en las Cajas Petri sembradas con diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} (ANEXO H.), es decir que se puede presentar que el número estimado de UP de mohos o levaduras/g $< 1,0 \cdot 10$ (NTE INEN 1529-10:2013). Es decir que, el almidón acetilado de Papa Yana Shungo, al estar por debajo del límite máximo permitido, cumple con los requisitos microbiológicos mencionados en la NTE para mohos, levaduras y coliformes (NTE INEN 2051:1995).

3.3 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN POR ACETILACIÓN

3.3.1 Acetilación

Se realizó el proceso de acetilación a una muestra de 80 g de almidón nativo de Yuca Amarilla y Papa Yana Shungo, a los cuales se les aplicó el procedimiento descrito en el Gráfico 2-2. En la Tabla 38-3 se presentan las condiciones bajo las cuales se realizó el procedimiento.

Tabla 38-3: Condiciones para acetilación de almidón nativo

Condiciones	Yuca Amarilla (<i>Manihot Esculenta</i>)	Papa Yana Shungo (<i>Solanum Andígena</i>)
Muestra de almidón a modificar (g)	80	80
Anhídrido acético 99% (mL)	10	10
pH durante reacción	8,1	8,4
Temperatura durante la reacción (°C)	17	15
Tiempo de reacción (min)	30	30

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Además de ello se agrega NaOH para mantener el pH durante la reacción, que dura aproximadamente 30 minutos. Seguido al proceso se centrifuga, se lava el sedimento y se deja secar en una estufa a 45°C. Autores como Trujillo (2014, p.42), Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.788), Sulbarán et al. (2018, p.259) y Rincón et al. (2007, p.288) también utilizan procesos similares con la adición de Anhídrido Acético; otros, sin embargo, recurren a Ácido Acético para el proceso, tal y como lo hace Holguin (2019, p.58); e incluso Vinil Acetato como Prieto-Méndez et al. (2010, p.35).

3.3.2 Verificación de la acetilación

3.3.2.1 Determinación del grado de sustitución

Para determinar el grado de sustitución de los grupos acetilo en la molécula de almidón primero se debe calcular el porcentaje de acetilos a través de la Ecuación 8-2, para la cual se realiza una titulación con HCl tal y como lo explica el literal 2.11.2.1. Tras el proceso se obtuvieron valores a los cuales se les aplicó la Ecuación 9-2 para evaluar el grado de sustitución de los dos almidones modificados. En la Tabla 39-3 se presentan abreviaturas de las muestras para que resulte más sencillo identificarlas.

Tabla 39-3: Abreviaturas para muestras de Almidón nativo y Acetilado

Muestra	Abreviatura
Almidón Nativo de Yuca Amarilla	AnYA
Almidón Nativo de Papa Yana Shungo	AnPYSh
Almidón Acetilado de Yuca Amarilla	AAYA
Almidón Acetilado de Papa Yana Shungo	AAPYSh

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Tabla 40-3: Contenido de % Acetilos y Grado de sustitución de almidones nativos y modificados

Muestra	% Acetilo	Grado de sustitución
AnYA	Nd	Nd
AnPYSh	Nd	Nd
AAcYA	5,074	0,201
AAcPYSh	12,857	0,554

Realizado por: Túquerres, A. 2021

En la Tabla 40-3 se presenta de manera conjunta los resultados de % de acetilos y grado de sustitución de las muestras. Al verificar la acetilación de la Yuca Amarilla se puede apreciar un porcentaje de acetilos mayor al reportado por Trujillo (2014, p.57) de 1,13% a comparación del 5,074% de la presente investigación. Esta diferencia también se ve reflejada en el grado de sustitución que es de 0,201 para la muestra AAcYA mientras que para el almidón de Yuca Blanca del autor mencionado anteriormente es de 0,0432. Varios son los factores que afectan al grado de acetilación alcanzado, entre ellos pH, catalizador, cantidad de reactivo o tiempo de reacción (Betancur, 1997; Bello-Pérez, 2010; citado en Martínez et al., 2019, p.339); el último factor es comprobado por Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.790) quienes mantienen dos tiempos de reacción para muestras a las cuales se le añadieron 3 mL de Anhídrido Acético. En un tiempo de 10 minutos para la yuca analizada por los autores mencionados, obtienen 0,25% de acetilos y 0,01 con lo que respecta al Grado de sustitución, mientras que para 240 minutos un 0,93% de grupos Acetilos con 0,037 de GS, es decir que hubo un incremento al aumentar el tiempo de reacción. Del mismo modo, la cantidad de reactivo incrementa de manera significativa estos dos parámetros tal y como menciona Sulbarán et al. (2018, p.258), quienes realizan 3 niveles de acetilación variando las cantidades de Anhídrido Acético (5, 10 y 15 mL) que añaden al almidón de maíz y de millo. Al acetilar la otra fuente de almidón nativo (AnPYSh) se obtuvo un porcentaje de acetilos de 12,857 y para el grado de sustitución 0,554. Estos valores son superiores si comparamos con la tesis de Arenas y Pedraza (2017, p.93) quienes obtienen un % Acetil de 0,86, lo que significa un grado de acetilación de 0,033 para un procedimiento similar al de la presente investigación. Del mismo modo Vargas et al. (2016, p.227) reportan que al acetilar el almidón que obtuvieron de la variedad de papa Única, alcanzan un GS de 0,05 y 1,26 de grupos Acetilo en la variedad de mayor acetilación (AAc 15%); para el caso de las variedades de menor concentración lograron, obviamente, valores inferiores. A pesar de que los dos últimos estudios mencionados utilizan almidón de papa, las diferencias en los Grados de sustitución y % Acetil puede deberse a la variedad de este tubérculo utilizada como fuente para la obtención de almidón, siendo esto uno de los factores que intervienen en el proceso de Acetilación (Betancur, 1997; Bello-Pérez, 2010; citado en Martínez et al., 2019, p.339).

El hecho de que exista mayor grado de sustitución en el AAcPYSh con respecto al AAcYA se debe, probablemente, a la relación amilosa/amilopectina del almidón nativo de ambas fuentes, siendo para la primera 0,34 y para la segunda 0,08. Salcedo-Mendoza et al. (2016, p.790) también registra ese fenómeno con dos raíces diferentes, siendo el almidón de ñame nativo el que posee una relación amilosa/amilopectina mayor con 0,34 mientras que el almidón nativo de yuca 0,23; el autor reporta un grado de sustitución mayor para el almidón de ñame.

Otros autores utilizan reactivos diferentes para comprobar el nivel de acetilación, como es el caso de Holguín (2019, p.72-73) quien realiza un proceso similar al del presente proyecto investigativo obteniendo, con la ayuda de Ácido Acético y almidón de papa, resultados superiores con 14,81 de porcentaje de acetilos y con un grado de sustitución de 0,65. Prieto-Méndez et al. (2010, p.35) por su parte obtiene valores inferiores, en comparación al AAcYA y AAcPYSh, al realizar el proceso con Vinil Acetato en almidón de cebada, obteniendo 3,66 en %Acetil y 0,143 en el grado de sustitución.

3.3.2.2 Determinación de acetilación por espectroscopía de infrarrojo

Se realizó el análisis por espectroscopía IR a las muestras de almidón nativo y acetilado para determinar de manera cualitativa la introducción de los grupos acetilo en la molécula de almidón. A continuación, se presentan la Gráfica 7-3 con la Tabla 41-3, que representa los datos del almidón nativo; mientras que la Gráfica 8-3 con la Tabla 42-3 corresponde a los datos del almidón acetilado.

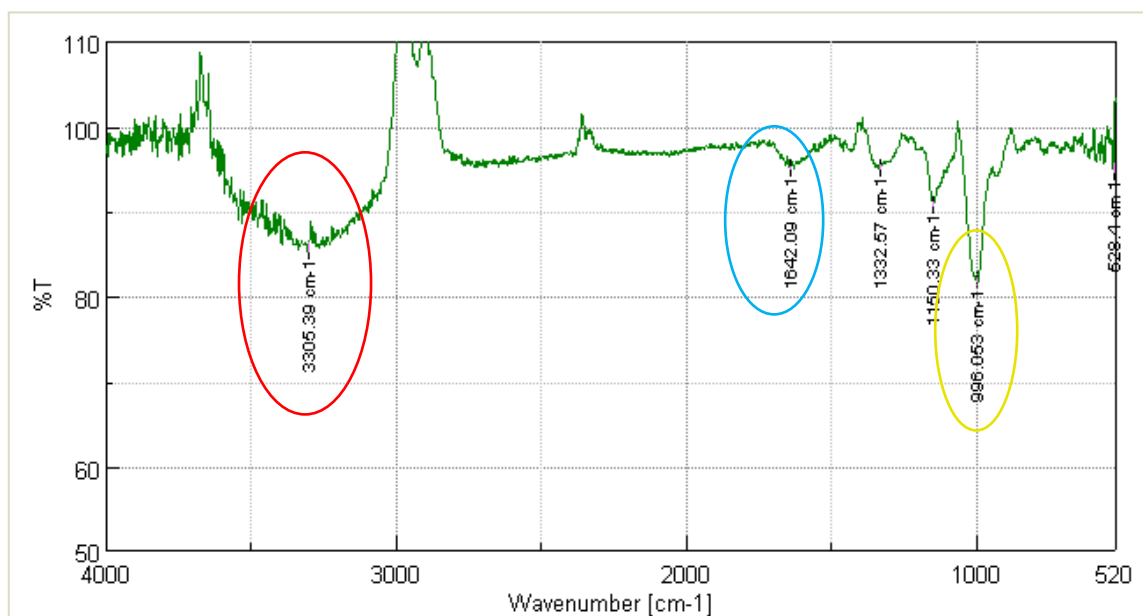


Gráfico 7-3. Espectroscopía Infrarrojo del almidón Nativo

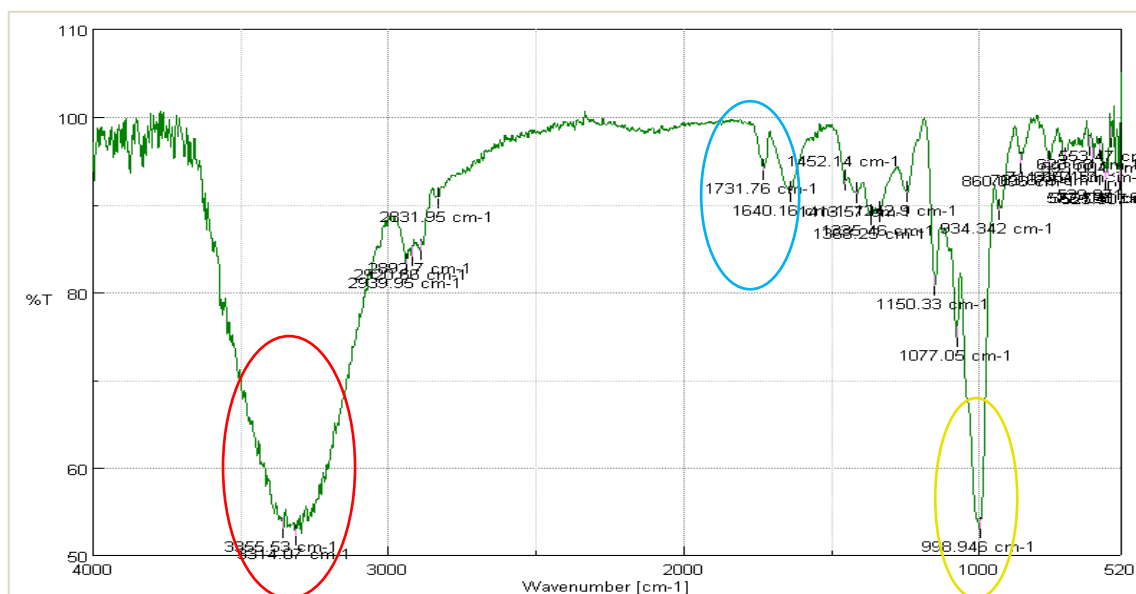
Fuente: Laboratorio de Química Analítica Instrumental, 2021

Tabla 41-3: Transmitancia vs. Número de onda de muestra de almidón nativo

Color representativo	Número de onda [cm-1]	%Transmitancia
Rojo	3305.39	85.2091
Celeste	1642.09	94.9598
Amarillo	996.053	81.7037

Fuente: Laboratorio de Química Analítica Instrumental, 2021

Realizado por: Túquerres, A. 2021

**Gráfico 8-3.** Espectroscopía Infrarroja del almidón Acetilado

Fuente: Laboratorio de Química Analítica Instrumental

Tabla 42-3: Número de onda vs. %Transmitancia de muestra de almidón modificado por acetilación

Color representativo	Número de onda [cm-1]	%Transmitancia
Rojo	3314.07	52.3192
Celeste	1731.76	93.9879
Amarillo	998.946	53.143

Fuente: Laboratorio de Química Analítica Instrumental, 2021

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Holguin (2019, p.77) afirma que el número de onda comprendido entre 3000 y 4000 cm^{-1} (señalado en rojo) corresponde al grupos hidroxilo, y en el caso de la presente investigación se puede notar un estiramiento, lo que corrobora la presencia de grupos carboxílicos; además asegura el autor que en las señales entre 750 y 1250 cm^{-1} (señalado con amarillo) se atribuyen al grupo funcional acetilo, el cual también se estira, siendo su punto más alto cercano a 1000 cm^{-1} . Además de ello, también se encuentra una variación de señal en la ubicada entre 1700 y 1750 cm^{-1} (señalado en celeste) perteneciente al grupo carbonilo (Holguin, 2019, p.77; Tupa, 2019, p.126). Al existir una variación significativa en las longitudes de onda mencionadas anteriormente se puede confirmar que el proceso de acetilación se realizó con éxito.

3.4 OBTENCIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES

Se realizaron las combinaciones A1, A2 y A3 descritas en la Tabla 12-2 para determinar el mejor porcentaje de mezcla entre AAcYA y AAcPYSh, y se pudo constatar que la denominación que tuvo mejores propiedades sensoriales fue la A3 con 70% de AAcYA y 30% de AAcPYSh. En el caso de la denominación A1 y A2 se obtuvieron películas muy pegajosas y con muy poca resistencia a la elongación (rígido), esto debido quizá a la relación amilosa/amilopectina presente en los almidones acetilados, pues diversos autores (Mali et al., 2004; citado en Ortiz, 2019, p.46) mencionan que los gránulos amilosa tienen la tendencia a formar geles y películas con poca resistencia a la elongación. Por tanto, al tener el AAcPYSh un alto contenido de amilosa, la relación amilosa/amilopectina aumenta, y al poseer las denominaciones A1 y A2 mayor porcentaje de este almidón a comparación con el A3, las biopelículas resultaron con dichas características desfavorables. Las películas formadas a partir de la denominación mencionada anteriormente, se realizaron en una Caja Petri de 9cm de diámetro aproximadamente y el espesor de las biopelículas fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos, con un 95% de confiabilidad (ANEXO J.), tal y como se muestra en la siguiente Tabla 43-3.





Tabla 43-3: Características de biopelículas obtenidas

N°	Tratamiento	Variable	Agua	Repetición	Espesor		Aspecto
			mL		mm		
1	T1	CG1 : CA1	40	R1	0,35	0,35	Transparente, poca flexibilidad, pegajosa.
2				R2	0,35		
3				R3	0,35		
4	T2	CG2 : CA1		R1	0,35	0,35	Transparente, poca flexibilidad, más pegajosa que los demás tratamientos.
5				R2	0,35		
6				R3	0,35		
7	T3	CG1 : CA2		R1	0,36	0,37	Transparente, flexible, buena elongación, sensación seca.
8				R2	0,37		
9				R3	0,37		
10	T4	CG2 : CA2		R1	0,36	0,36	Transparente, flexible, buena elongación, pegajosa.
11				R2	0,36		
12				R3	0,35		

Realizado por: Túquerres, A. 2021

El T1 y T2 tuvieron espesores similares, esto debido tal vez a la cantidad igual de almidón que estos poseen, aunque el tratamiento 2 es el que sensorialmente es más pegajosa debido a la cantidad de glicerina añadida (igual parte de glicerina y almidón). En el caso del T3 y T4 fueron las que presentaron mejores propiedades sensoriales, con la diferencia que el T3 se visualizó más seca, esto debido a que posee menor relación glicerina:almidón (5:8) que los demás tratamientos. La característica común entre todos los tratamientos es la transparencia similar de la película.

Tabla 44-3: Transparencia de los diferentes tratamientos de las películas biodegradables

	
<p>TRATAMIENTO 1</p>	<p>TRATAMIENTO 2</p>
	
<p>TRATAMIENTO 3</p>	<p>TRATAMIENTO 4</p>

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Es así que, según lo expuesto anteriormente, la mejor película biodegradable según el análisis sensorial es la formulada a partir de la denominación A3 (70% AAcYA, 30% AAcPYSh) y el T3 (1,25g glicerina, 2g almidón). Por lo tanto, es la que se escoge para realizar los posteriores ensayos en las películas.

3.4.1 Ensayos mecánicos

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Curtiembre y Fibras Agroindustriales de la Facultad de Pecuarias, siguiendo el procedimiento recomendado por el técnico docente de dicho laboratorio. Se experimentó con el tratamiento escogido anteriormente para obtener % Elongación y Resistencia a la Tensión a través de probetas (ANEXO K), el cual resultó en 80,83% y 64 N/cm^2 respectivamente. La resistencia a la tensión es la máxima resistencia que una película presenta al estiramiento mientras que el porcentaje de elongación mide la capacidad de dicho estiramiento o flexibilidad que tiene la películas; en ambos casos se mide hasta que la probeta de la película se rompe (Yang y Paulson, 2000b; citado en Solano-Doblado et al., 2018, p.32).

En el caso de la resistencia a la tensión, Enríquez (2012a, p.62) menciona que en los puntos medios del almidón hidroxipropilado de 2 variedades de yuca obtiene valores de 0,56 y 0,70 MPa, mientras que para el presente estudio 0,64 MPa; y para el porcentaje de elongación 135 y 179 respectivamente. Alarcón y Arroyo (2016, p.321) por su parte, tiene un menor porcentaje de elongación con valores de 14,38 y 8,45 para almidón acetilado de papa, mientras que la fuerza de tracción máxima es de 6,06 y 8,6 N, siendo estos valores superiores al de la presente investigación (2,9 N). Estos resultados exponen el hecho de que son varios los factores que influyen en estos módulos, como la fuente del almidón o el tratamiento previo que se le aplique. Otro parámetro que interfiere es la relación glicerina:almidón del bioplástico, debido a que la cantidad añadida de plastificante reduce las fuerzas intermoleculares permitiendo que el material sea más flexible y menos resistente a causa del ingreso las moléculas de plastificante en la matriz polimérica, modificando la organización y energía de la estructura de la biopelícula (García, 2009; Bertuzzi et al., 2002; citado en Enríquez, 2012a, p.64).

Tabla 45-3: Resultados de Tensión y % Elongación

Tratamientos	Repeticiones	Resistencia a la tensión (N/cm^2)	Porcentaje de elongación (%)
1	1	64,44	70,00
	2	64,44	87,50
	3	64,44	85,00
Promedio		64,44	80,83

Realizado por: Túquerres, A. 2021

3.4.2 Solubilidad

Se realizó este ensayo según la técnica descrita por diversos autores (García et al., 2004; citado en Trujillo, 2014, p.49) al tratamiento escogido por análisis sensorial, el cual resultó en 2,59%. El porcentaje de solubilidad de una película biodegradable indica cuánto se integra la misma en un medio acuoso. Es así que autores como Charro (2015, p.61) prefieren maximizar el valor de solubilidad, mencionando un valor de 41,7%, mientras que Trujillo (2014, p.76) prefiere una película biodegradable con la menor solubilidad posible según sus formulaciones, con 20,54%. Esta preferencia se debe a que algunos autores (Kim et al., 2002; Pérez-Gago et al., 1999; Sothomvit y Krochta, 2000; citado en Trujillo, 2014, p.75; Charro, 2015, p.86) mencionan que la utilidad de la película degradable depende también del porcentaje de solubilidad, puesto a que una película con alta relación de este parámetro se destina el uso para cubiertas comestibles, en cambio en el caso de poseer un bajo porcentaje de solubilidad se utiliza para cobertura de alimentos, debido a que se requiere mantener la integridad estructural de la biopelícula hasta cierto punto para mantener de mejor manera las propiedades de los alimentos recubiertos, siendo este último caso el fin del presente estudio.

3.4.3 Permeabilidad





Tras la recolección de datos se pudo determinar el gráfico que relaciona el aumento de peso de la sílica gel con las horas transcurridas y con ello la pendiente y la correlación de los mismos. Joaquín y Villalda (2013, p.62) recomiendan una correlación mayor a 0,95; esta medida estadística expresa el punto hasta el cual dos variables están relacionadas linealmente. Al realizar el análisis a la biopelícula T3 se reportó una velocidad de transmisión de vapor de agua de $0,013 \text{ g/h} * \text{m}^2$ y una permeabilidad al vapor de agua de $3,11 \times 10^{-5} \text{ g/h} * \text{m} * \text{MPa}$. Este índice es una de las propiedades más importantes a cuantificar en películas biodegradables, pues su medición permite valorar la pérdida o ganancia de agua en los alimentos cubiertos (Ramos-García et al., 2018), ayudando así a que estos se conserven por mucho más tiempo. Estos valores registrados están por debajo de los mencionados por Trujillo (2014, p.87) con almidón doblemente modificado de yuca y Marzo (2010, p.101) con películas basadas en zeína, quienes reportan 0,03 y 0,76 $\text{g/h} * \text{m} * \text{MPa}$ respectivamente tras transformación a unidades del presente estudio. Otros autores como Joaquín y Villalda (2013, p.62) mencionan valores de PVA de $9,12 \times 10^{-5} \text{ g/h} * \text{m} * \text{MPa}$ con almidón termoplástico de yuca; y Enríquez (2012a, p.92) con $1,77 \times 10^{-5} \text{ g/h} * \text{m} * \text{MPa}$ con películas obtenidas por extrusión de almidón modificado de yuca. Es importante resaltar que la permeación de vapor de agua debe ser mínima para disminuir la transferencia entre el vapor de agua circundante y el alimento, evitando de esta manera que este se deteriore el elemento al consumir.

3.4.4 Degradabilidad

Se tomó una muestra de tierra con materia orgánica, como insectos, raíces, hojas, para emular de la mejor manera el ambiente donde se pretende que se degrade la biopelícula; y se colocó 3 muestras de 2,5x2,5 cm en dichas muestras de ambiente. Para el ensayo de degradabilidad en agua



se reporta mediante evidencia fotográfica, debido a la dificultad de sacar la muestra de la biopelícula de este ambiente para su respectivo pesaje. En la Tabla 46-3 y 47-3 se muestra la evidencia fotográfica de la modificación de la película debido a la exposición a tierra y agua.

Tabla 46-3: Degradabilidad en tierra

	Degradabilidad sobre tierra	Degradabilidad bajo tierra
Tiempo	Fotografía	
2 días		
30 días		

Realizado por: Túquerres, A. 2021

Tabla 47-3: Degradabilidad en agua

Tiempo	0 horas	4 horas
Fotografía		

Realizado por: Túquerres, A. 2021

En la Tabla 48-3 se muestran los resultados cuantitativos de la degradabilidad de las películas sobre la tierra y debajo de la misma.

Tabla 48-3: Resultados prueba degradabilidad en tierra

Ensayo	Profundidad (cm)	Día	Peso (g)	Degradabilidad (%)
Sobre suelo	0	1	0,242	10
		30	0,218	
Debajo del suelo	2	1	0,209	42
		30	0,121	

Realizado por: Túquerres, A. 2021

En la prueba efectuada a la película ubicada sobre el suelo se pudo constatar una menor degradabilidad a comparación con aquella debajo del mismo, esto debido quizá a las condiciones ambientales de la ciudad donde se efectúa dicho ensayo. Debido a la alta humedad en el ambiente y las lluvias constantes, la película con 10% de degradabilidad obtuvo dicha humedad, aumentando su peso, lo que dificultó determinar realmente si la pérdida de peso era por la evaporación de la humedad adquirida o la degradación de la película biodegradable. Aun así, y después de 30 días sobre el suelo, se redujo el peso de la muestra inicial de la biopelícula demostrando que, en efecto, se degrada con el tiempo. Para el caso de la muestra colocada 2 centímetros por debajo de la superficie, se registró un mayor porcentaje de degradabilidad en el mismo plazo de la muestra anterior. La película biodegradable se mostró quebradiza, de color marrón y parte de su estructura se comenzó a separar del mismo, esto siendo consecuencia, muy probablemente, del proceso de degradación por el que atravesaba. La ventaja de este ensayo es que no tiene interacción directa con el medio ambiente (humedad), debido a la capa de tierra que la cubre, por lo que su degradación es más efectiva a comparación con la prueba realizada sobre el suelo. Finalmente, en el caso de la degradación en el agua, se pudo apreciar visualmente que la película absorbió el agua circundante con gran rapidez, aumentando su tamaño; aunque el ensayo que mejor podría definir este parámetro es el de solubilidad descrito anteriormente.

CONCLUSIONES

- Se pudo obtener almidón de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) a través del método húmedo y a partir de un diseño experimental generado con ayuda del software Statgraphics Centurion XVI, siendo este un factorial 2^2 ; y mediante un análisis estadístico ANOVA y TUKEY se pudo verificar que los rendimientos de los tratamientos de almidón de ambas fuentes tuvieron diferencias significativas con un 95% de confiabilidad. El mejor tratamiento para la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) fue el T1 con velocidad baja a 1 minuto con un rendimiento de $24,59\% \pm 0,310$, mientras que para la Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) el mejor tratamiento fue el T4 con velocidad alta a 2 minutos con un rendimiento de $8,66\% \pm 0,337$.
- Se realizó la esterificación del almidón de ambas fuentes utilizando Anhídrido Acético, verificándose a través de espectroscopía IR y mediante el grado de sustitución; de este último se obtuvo un grado de acetilación de 5,074 para la Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y 12,857 para la Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) lo que refleja un grado de sustitución de 0,201 y 0,554 respectivamente. Estos resultados son mayores a comparación de la acetilación con Vinil Acetato y similares al Ácido Acético, por lo que se puede decir que es uno de los más favorables al momento de realizar este proceso. Aun así, hay que aclarar que son muchos los factores que intervienen en el proceso, como pH, temperatura, cantidad de reactivo, etc.
- El análisis bromatológico de las muestras de almidón nativo y acetilado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*) estuvieron, en su mayoría, acorde a la NTE INEN 2051:1995, la cual hace referencia a los requisitos de proteína, humedad, ceniza, grasa, fibra, mohos, levaduras y coliformes. Además, se pudo constatar diferencias en dicho análisis proximal entre el almidón nativo y acetilado, aumentando los valores en el almidón acetilado como en el caso de amilosa, poder de hinchamiento e índice de solubilidad y absorción del agua, mientras que disminuye para temperatura de gelatinización y viscosidad, siendo estas variaciones una característica del proceso de acetilación. Además de ello disminuyó el contenido de humedad, ceniza, grasa, fibra y proteína en el almidón acetilado de ambas fuentes, debido al proceso de modificación química que se efectuó; esta reducción es un factor favorable para la elaboración de películas.
- Al realizar diferentes formulaciones mediante un diseño experimental 2^2 para la obtención de una película biodegradable a base de almidón, se pudo obtener mediante análisis sensorial la mejor formulación para la elaboración de las biopelículas, siendo esta la A3 (70% AAcYA, 30% AAcPYSh) - T3 (1,25g glicerina, 2g almidón). Al realizar las respectivas pruebas se obtuvieron resultados positivos y aceptables al comparar con diversos autores, como es el caso de la relación tensión:elongación; baja permeabilidad al vapor de agua, lo que minimiza

la transferencia entre el vapor de agua circundante y el alimento; bajo índice de solubilidad de las películas biodegradables, lo que mantiene hasta cierto punto la integridad estructural de la biopelícula; y los ensayos de degradabilidad que resultaron mejores en la prueba realizada bajo suelo a comparación con la que se colocó en la superficie.

RECOMENDACIONES

- Extraer el almidón de modo más aséptico posible para evitar el crecimiento de colonias de microorganismos.
- Mantener estables y dentro del rango de variación los factores que influyen en el proceso de acetilación, de esta manera se asegura que se obtenga un resultado favorable.
- Realizar diseños experimentales para obtener diferentes resultados y así asegurar, a través de la diversificación de las variables, el mejor resultado posible.
- Efectuar un estudio más profundo para del parámetro de degradabilidad de las películas biodegradables en ambientes más controlados y realistas.
- Realizar pruebas adicionales para verificar la existencia de grupos acetilo.

BIBLIOGRAFÍA

ABDI, H. & WILLIAMS, L. "Newman-Keuls Test and Tukey Test". Encyclopedia of Research Design [en línea], 2010, (United States of America), pp. 1-11. [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en: <https://personal.utdallas.edu/~herve/abdi-NewmanKeuls2010-pretty.pdf>

ACOSTA, J.; et al. "Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico". Bionatura Conference Series [en línea], 2018, (Ecuador) 1(1), pp. 1-18. [Consulta: 8 marzo 2021]. ISSN 1390-9355. Disponible en: <https://www.revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>

AGUILAR, E. (ed.) *Manual del cultivo de yuca* [en línea]. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2017. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>

ALARCÓN, H. & ARROYO, E. "Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de papa". Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea], 2016, (Perú) 82(3), pp. 315-323. [Consulta: 22 abril 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a07v82n3.pdf>

ÁLAVA, L.; et al. "Caracterización física y microbiológica del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) producido en Canuto-Manabí (Ecuador)". Avances en Investigación Agropecuaria [en línea], 2017, (México) 21(2), pp. 25-40. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 0188789-0. Disponible en: <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2017/mayo/2.pdf>

ÁLVAREZ, L. Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxicanoatos [en línea] (Trabajo de titulación). (Tercer nivel) Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia. Sevilla-España. 2016. pp. 12-13. [Consulta: 23-04-2021]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54517/BIOPL%C3%81STICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ALVIS, A.; et al. "Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas". Información Tecnológica, 2008, (Chile) 19(1), pp. 19-28. [Consulta: 23 febrero 2021]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art04.pdf>

ARENAS, C. & PEDRAZA, D. Evaluación del proceso de modificación del almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel de laboratorio (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías. Bogotá-Colombia. 2017. pp. 27-105. [Consulta: 2020-12-13]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6043/1/6111689-201-1-IQ.pdf>

ARISTIZÁBAL, J. & SÁNCHEZ, T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de*

yuca [en línea]. Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2007. [Consulta: 10 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

BELLO-PÉREZ, L.; et al. "Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho)". *Agrociencia* [en línea], 2002, (México) 36(2), pp. 169-180. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236204.pdf>

BONILLA, J.; et al. "Modificación enzimática de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para el desarrollo de películas flexibles". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2014, (Colombia) 12(1), pp. 134-143. [Consultado: 8 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a16.pdf>

BUSNEGO, M. Evaluación de las características físicas, químicas, fisicoquímicas y funcionales de almidón de arroz modificado a dos niveles de acetilación (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [En línea] Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas-Venezuela. 2013. pp. 55-84. [Consulta: 2021-02-13]. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/9236/1/Tesis%20%20Mar%C3%ADa%20F%20Busnego%20B.pdf>

CÁRDENAS, F.; et al. "Sistemas de secado del almidón de yuca para uso humano en una comunidad de Ecuador". *ESPAMCiencia* [en línea], 2015, (Ecuador) 6(1), pp. 31-35. [Consulta: 12 enero 2021]. Disponible en: https://documen.site/download/descargar-pdf-escuela-superior-politecnica-agropecuaria-de-manabi_pdf

CARRASCAL, J., Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico (Trabajo de titulación) (Magister). [En línea] Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia. 2013. pp. 9-45. [Consulta: 2021-02-18]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/19485393.pdf>

CERVANTES, A.; et al. *Estadística Práctica para el Análisis de datos: SPSS. Una herramienta para el análisis estadístico de datos* [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2004. [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan_SPSS.pdf

CHARRO, M. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2015. pp. 61-86. [Consulta: 2021-04-02]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

ENRÍQUEZ, M. Obtención y caracterización de películas activas obtenidas por extrusión de almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (Trabajo de titulación) (Magíster). [En línea] Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería en Alimentos. Cali-Colombia. 2012. pp. 62-92. [Consulta: 2021-02-28]. Disponible en:

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7918/CB-0473119.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ENRÍQUEZ, M.; et al. "Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2013, (Colombia) 11(2), pp. 21-30. [Consulta: 10 febrero 2021]. ISSN 1692-3561. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa03.pdf>

ENRÍQUEZ, M.; et al. "Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2012, (Colombia) 10(1), pp. 182-192. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>

ESPINOZA, R. Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia-Chile. 2012. pp. 14-20. [Consulta: 2021-03-08]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fae.77r/doc/fae.77r.pdf>

FAOSTAT. *Datos sobre alimentación y agricultura* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019 [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.

FLORES, S. Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverizado mezclado con alta energía (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Instituto Politécnico Nacional. México D.F.-México. 2004. pp.66-80 [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/10706/1/PTA_M_20040615_001.PDF

FORESTI, M.; et al. "Acetilación sostenible de biopolímeros mediada por un alfa-hidroxiácido de origen natural". *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea], 2014, (Argentina) 66, pp. 69-81. [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/52482546.pdf>

GARCÍA, O.; et al. "Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles". *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria* [en línea], 2013, (Colombia) 11(1), pp. 13-21. [Consulta: 18 enero 2021]. ISSN 1692-7125. Disponible en: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/382/521

HERNÁNDEZ-MEDINA, M.; et al. "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea], 2008, (Brasil) 28(3), pp. 718-726. [Consulta: 3 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>

HINOSTROZA, F.; et al. *Manual de a Yuca* [en línea]. Portoviejo-Ecuador: Instituto Nacional

Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 1995. [Consulta: 8 febrero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1325>

HINOSTROZA, F.; et al. "Cultivo de yuca en el Ecuador". *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 1, n° 436 (2014), (Ecuador) pp. 1-26.

HOLGUIN, J. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías. Bogotá-Colombia. 2019. pp. 28-77 [Consulta: 2021-01-20]. Disponible en: <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>

INTEREMPRESAS. *La importancia de los bioplásticos y la biodegradabilidad* [blog]. Interempresas, 29 septiembre 2008. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/24610-La-importancia-de-los-bioplásticos-y-la-biodegradabilidad.html>

JOAQUI, D. & VILLALDA, H. "Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2013, (Colombia) 1(2), pp. 59-68. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>

KNOWLES, M.; et al. "Uso de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* [en línea], 2012, (Colombia) 25(3), pp. 488-499. [Consulta: 5 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295024923016.pdf>

LIBERA *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza* [en línea]. SEO BirdLife, 2019. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-pl%C3%A1sticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf

MALAGÓN, M.; et al. "Síntesis de bioplásticos a partir de microorganismos". *Semilleros Formación Investigativa* [en línea], 2017, (Colombia) 3(1), pp. 127-135. [Consulta: 23 abril 2021]. ISSN 2463-0454. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6446/1/COL0046961-2017-1-IQ.pdf>

MARTÍNEZ, P.; et al. "Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas". *Scientia agropecuaria* [en línea], 2015, (Perú) 6(4), pp. 291-301. [Consulta: 12 febrero 2021]. ISSN 2077-9917. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357643270006.pdf>

MARTÍNEZ, P.; et al. "Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. «Única». *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2019, (Perú) 85(3), pp. 338-351. [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a06v85n3.pdf>

MARZO, I. Efecto del tipo de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad

Pública de Navarra. Pamplona-España. 2010. p. 101. [Consulta: 2021-03-18]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/10850415.pdf>

MEAÑO, N.; et al. "Evaluación de las propiedades químicas y funciones del almidón nativo de Ñame Congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos". Saber [en línea], 2014, (Venezuela) 26(2), pp. 182-187. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 2343-6468. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739467011.pdf>

MELIAN, D. Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [En línea] Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile. 2010. pp. 31-64 [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam522e/doc/fam522e.pdf>

MONTEROS, C.; et al. "Ficha técnica de la variedad de papa INIAP - Yana Shungo". Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [en línea], 2011, (Ecuador), pp. 1-13. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3267/1/iniapscCD56.pdf>

NIÑO, L.,; et al. "Biopelículas fotoactivas: Material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación". Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica [en línea], 2018, (Colombia) 21(2), pp. 457-466. [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v21n2/0123-4226-rudca-21-02-00457.pdf>

NTE INEN 1529-10:2013. *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad.*

NTE INEN 1529-6:1990. *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de microorganismos coliformes por la técnica del número más probable.*

NTE INEN 1529-7:2013. *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de microorganismos coliformes por la técnica de recuento de colonias.*

NTE INEN 2051:1995. *Granos y cereales. Maíz molido, sémola, harina, critz. Requisitos*

ORTIZ, M. Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangífera indica*) con aplicación potencial en envases (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad del Bosque, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2019. pp. 25-46. [Consulta: 2021-01-28]. Disponible en: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2106/Ortiz_Ramirez_Maria_Alejandra_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

OSPINA, B.; & CEBALLOS, H. (ed.) *La Yuca en el Tercer Milenio* [en línea]. Cali-Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2002. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/yuca_tercer_milenio.pdf.

PALLO, E. Evaluación de tres tecnologías para la producción de papas nativas variedades (I-Puca shungo e I- Yana shungo) para uso industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Magister)

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuaria. Ambato- Ecuador. 2014. pp. 15-16 [Consulta: 2021-04-23]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7555/1/tesis-](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7555/1/tesis-017%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20236.pdf)

017%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20236.pdf

PEÑARANDA, O.; et al. "Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos". Revista Ingeniería e Investigación [en línea], 2008, (Colombia) 28(3), pp. 47-52. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v28n3/v28n3a06.pdf>

PERDOMO, G., "Plásticos y medio ambiente". Revista Iberoamericana Polímeros [en línea], 2002, (Venezuela) 3(2), pp. 1-13. [Consulta: 12 de diciembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/39096179/Revista_Iberoamericana_Pol%C3%ADmeros_Volumen_3_2_Abril_2002_Perdomo_Pl%C3%A1sticos_y_medio_ambiente_PL%C3%81STICOS_Y_MEDIO_AMBIENTE

PÉREZ, H. & RODRIGUEZ, I. *Cultivos tropicales de importancia económica en Ecuador (arroz, yuca, caña de azúcar y maíz)* [en línea]. Machala-Ecuador: Editorial UTMACH, 2018. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12538>

PRIETO-MÉNDEZ, J.; et al. "Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de granulos". Multiciencias [en línea], 2009, (Venezuela) 9(2), pp. 115-125. [Consulta: 30 abril 2021]. ISSN 1317-2255. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_ImpTecTox/fco_prieto/mult.pdf

PRIETO-MÉNDEZ, J; et al. "Acetilación y caracterización del almidón de cebada". Revista Latinoamericana de Recursos Naturales [en línea], 2010, (México) 6(1), pp. 32-43. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v6-n1-4-acetilacion-y-caracterizacion-del-almidon-de-cebada.pdf>

PUMISACHO, M. & SHERWOOD, S. *El cultivo de la papa en el Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2002. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion/PDF/Pumisacho_y_Sherwood_Cultivo_de_Papa_en_Ecuador.pdf

PUPO, M. Modificación enzimática de harinas y almidones de Ñame (criollo, espino y diamante) cultivado en el departamento de Sucre (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías. Berástegui-España. 2020. pp. [Consulta: 28-01-2021]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2981/PupoArgumedoMariaAlejandra..pdf?sequence=3&isAllowed=y>

QUINTERO, V.; et al. "Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la

harina y almidón de chachafruto". *Ingenium* [en línea], 2013, (Colombia) 14(28), pp. 16-32. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 0124-7492. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038458>

RACHED, L.; et al. "Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de mapuey blanco y morado (*Dioscorea trifida*L.) modificados por acetilación y oxidación". *Revista Facultad de Farmacia* [en línea], 2013, (Venezuela) 76(1), pp. 84-95. [Consulta: 8 marzo 2021]. Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ff/article/view/6163/5940

RAMOS-GARCÍA, L.; et al. "Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2018, (México) 19(1). [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81355612003/html/index.html>

RINCÓN, A.; et al. "Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*)". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* [en línea], 2007, (Venezuela) 57(3), pp. 287-294. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237566088_Efecto_de_la_acetilacion_y_oxidacion_sobre_algunas_propiedades_del_almidon_de_semillas_de_Fruto_de_pan_Artocarpus_altilis

ROBLES, M. Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia-Chile. 2012. p. 20. [Consulta: 22 enero 2021]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/far666r/doc/far666r.pdf>

RUIZ, G. Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca (Trabajo de titulación) (Magíster). [En línea] Universidad EAFIT. Medellín-Colombia. 2005. pp. 12-24. [Consulta: 2021-04-30]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>

RUIZ, G.; et al. "Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca". *Revista EIA* [en línea], 2009, (Colombia) 1(12), pp. 67-78. [Consulta: 18 enero 2021]. ISSN 1794-1237. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n12/n12a06.pdf>

SALCEDO-MENDOZA, J.; et al. "Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y Ñame (*Dioscorea alata* cv. Diamante 22)". *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], 2016, (México) 15(3), pp. 787-796. [Consulta: 15 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf>

SOLANO-DOBLADO, L.; et al. "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados". *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea], 2018, (México) 21(2), pp. 30-42. [Consulta: 16 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2018/cqbs182c.pdf>

SOLARTE-MONTÚFAR, J.; et al. "Propiedades reológicas y funcionales del almidón

procedente de tres variedades de Papa Criolla". *Información Tecnológica* [en línea], 2019, (Chile) 30(6), pp. 35-44. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v30n6/0718-0764-infotec-30-06-00035.pdf>

STATPOINT TECHNOLOGIES, INC. *Statgraphics Centurion XVI* 16.1.03. [Programa de ordenador]. Virginia: 2010 [Consulta: 2-12-2020]. Disponible en: <https://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>

SULBARÁN, A.; et al. "Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente". *Revista Colombiana de Ciencia, Química y Farmacia* [en línea], 2018, (Colombia) 47(2), pp. 255-276. [Consulta: 3 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v47n2/0034-7418-rccqf-47-02-255.pdf>

TORRENEGRA, M.; et al. "Esterificación de almidones propios de la región Caribe colombiana". *Revista Cubana de Farmacia* [en línea], 2016, (Colombia) 50(4). [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/59/63>.

TRUJILLO, C. Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Facultad de Ingeniería. Puerto Maldonado-Perú. 2014. pp. 4-87 [Consulta: 2020-12-12]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TUPA, M. Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería. Buenos Aires-Argentina. 2019. pp. 126-151. [Consulta: 2021-01-08]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81107/CONICET_Digital_Nro.c9f6a8d7-e72b-43a7-8fe9-aa27a87b20c7_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

VARGAS, G.; et al. "Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2016, (Perú) 7(3), pp. 223-230. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7nspe/a09v7nspe.pdf>

VÁZQUEZ, A.; et al. "El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente". ResearchGate [en línea], 2016, (México), pp. 1-14. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303045381_El_origen_de_los_plasticos_y_su_impacto_en_el_ambiente

VÁZQUEZ, A.; et al. "Biolásticos y plásticos degradables". ResearchGate [en línea], 2016, (México) pp. 1-12. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303045045_Bioplasticos_y_plasticos_degradables

VILLALOBOS, M.; et al. "Obtención de almidón a partir de los residuos de papa del mercado

Abastos". Ciencias de la Ingeniería y Tecnología [en línea], 2014, (México) 5, pp. 266-271. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-V/Articulo_25.pdf

VILLARROEL, P.; et al. "Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos". Revista Chilena de Nutrición [en línea], 2018, (Chile) 45(3), pp. 271-278. [Consulta: 13 febrero 2021]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v45n3/0717-7518-rchnut-45-03-0271.pdf>.

ZÁRATE-POLANCO, L.; et al. "Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (Solanum tuberosum, Grupo Phureja)". Revista Latinoamericana de la Papa [en línea], 2014, (Argentina) 18(1), pp. 1-24. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512060>



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

ANEXO A. Proceso de extracción de almidón



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021</p>	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
<p>a) Proceso de pelado Yuca Amarilla b) Aspecto Papa Yana Shungo c) Separación gabazo y obtención almidón d) Almidón sedimentado</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>		LÁMINA	FECHA
			1	24/04/2021

ANEXO B. Almidón seco



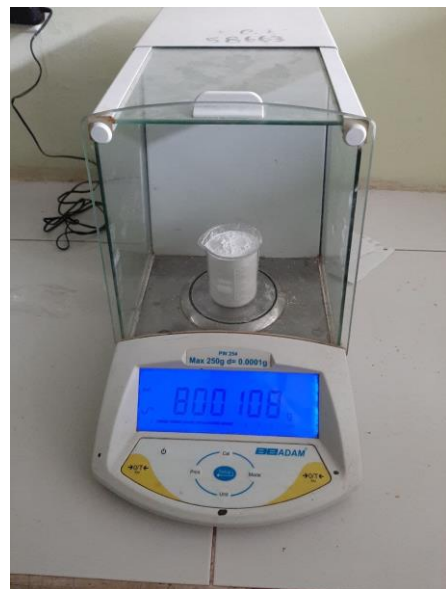
e)



f)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
e) Fracción almidón seco f) Almidón seco	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	FECHA
			2	24/04/2021

ANEXO C. Proceso para acetilación almidón



g)



h)



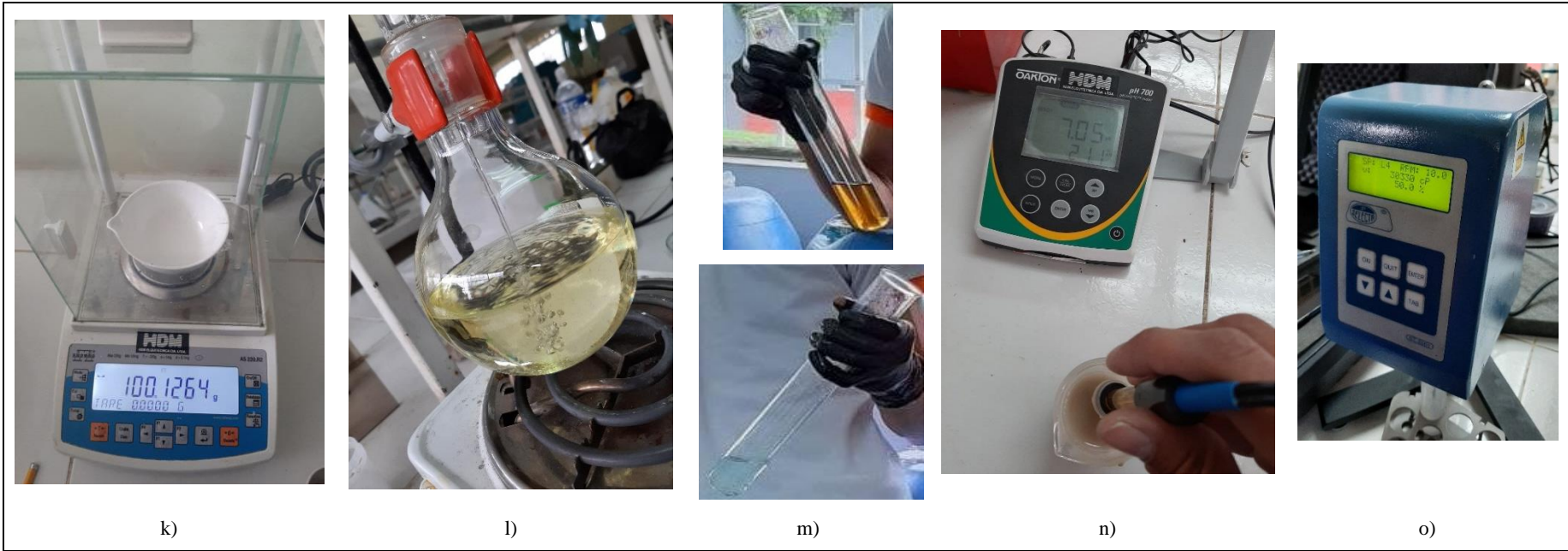
i)



j)

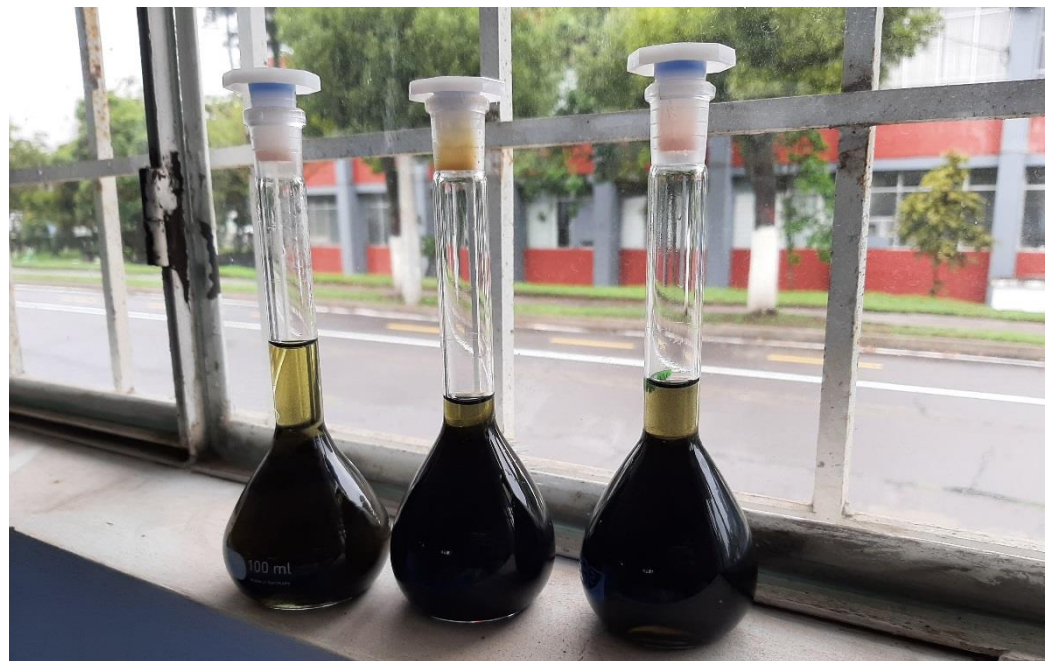
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
g) Pesaje muestra almidón h) Acetilación almidón i) Centrifugación para obtener almidón acetilado j) Comprobación acetilación	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar			
			3	24/04/2021

ANEXO D. Análisis proximal de almidón nativo y acetilado



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
k) Humedad l) Grasa m) Proteína n) pH o) Viscosidad	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar			
			4	24/04/2021

ANEXO E. Muestras para análisis de amilosa



p)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
p) Muestras para análisis amilosa por espectrofotometría de UV visible	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA 5	FECHA 24/04/2021

ANEXO F. Análisis microbiológico para coliformes totales de almidón acetilado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*)



q)



r)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021 </p>	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
q) Tubos con diferentes diluciones r) Tubos durham sin aire	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	FECHA
			6	24/04/2021

ANEXO G. Análisis microbiológico para coliformes totales de Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*)



s)



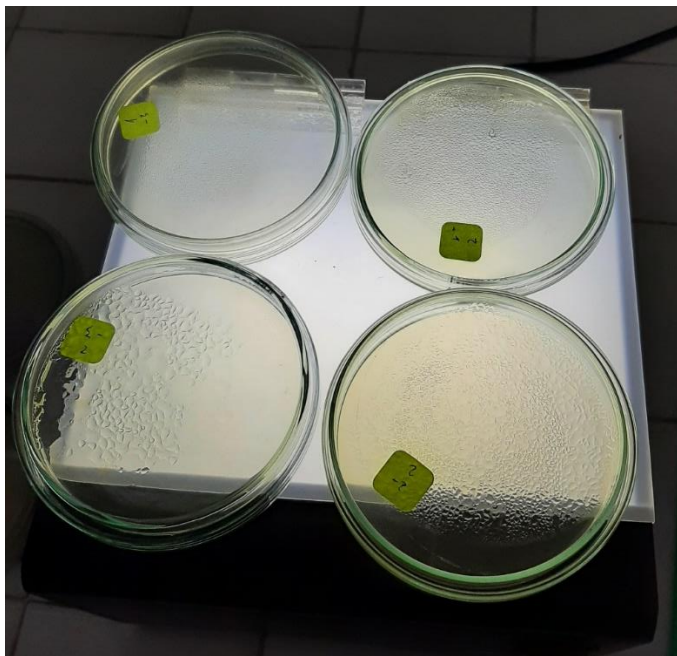
t)



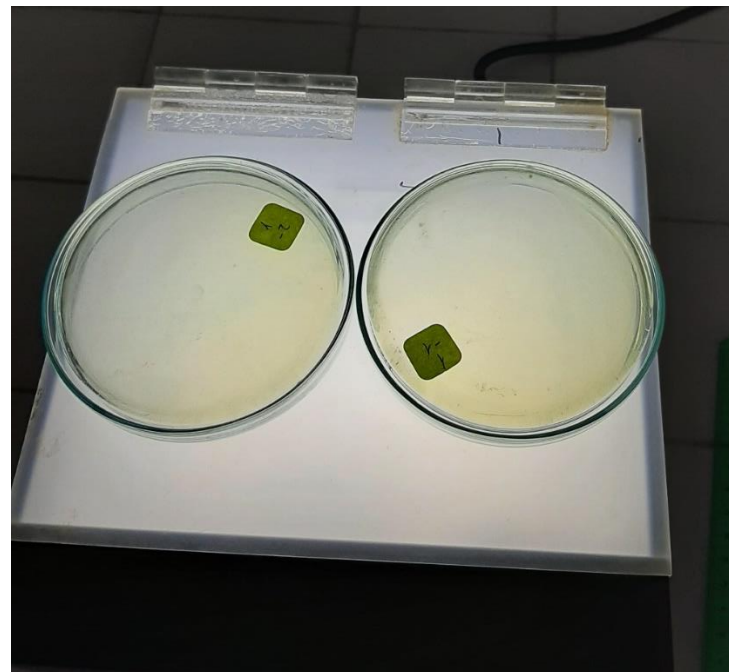
u)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
s) Tubos con diferentes diluciones t) Tubos durham sin aire u) Tubo durham de primera dilución	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA 7	FECHA 24/04/2021

ANEXO H. Análisis microbiológicos para mohos y levaduras de almidón acetilado de Yuca Amarilla (*Manihot Esculenta*) y Papa Yana Shungo (*Solanum Andígena*)



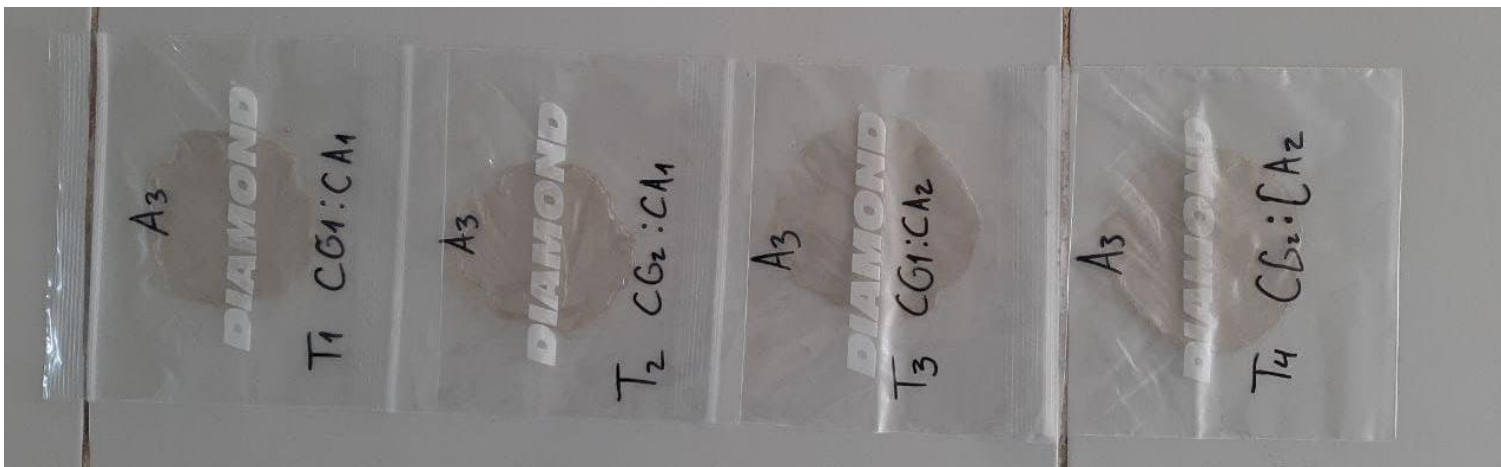
v)



w)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
v) Cajas Petri con diferentes diluciones	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	FECHA
w) Cajas Petri con diferentes diluciones	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		8	24/04/2021

ANEXO I. Películas biodegradables



x)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andigena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
x) Muestra de cada formulación de película degradable	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	FECHA
		9	24/04/2021	

ANEXO J. Análisis ANOVA de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para determinar si existen diferencias significativas en el espesor de las películas

Almidón	CA1: 1,5 gramos		CA2: 2,0 gramos	
Tratamientos	T1	T2	T3	T4
Rendimientos	0,35	0,35	0,36	0,36
	0,35	0,35	0,37	0,36
	0,35	0,35	0,37	0,35
Promedio	0,35	0,35	0,37	0,36

RESUMEN	Total			
	<i>CA1</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	
Cuenta		3	3	6
Suma		1,05	1,05	2,1
Promedio		0,35	0,35	0,35
Varianza		4,62223E-33	4,62223E-33	3,69779E-33
	<i>CA2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	
Cuenta		3	3	6
Suma		1,1	1,07	2,17
Promedio		0,366666667	0,356666667	0,361666667
Varianza		3,33333E-05	3,33333E-05	5,66667E-05
	<i>Total</i>			
Cuenta		6	6	
Suma		2,15	2,12	
Promedio		0,358333333	0,353333333	
Varianza		9,66667E-05	2,66667E-05	

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	0,000408333	1	0,000408333	24,5	0,00112124	5,317655072
Columnas	7,5E-05	1	7,5E-05	4,5	0,066688	5,317655072
Interacción	0,000075	1	0,000075	4,5	0,066688	5,317655072
Dentro del grupo	0,000133333	8	1,66667E-05			
Total	0,000691667	11				

ANEXO K. Ensayos mecánicos



y)



z)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
y) Probeta para ensayo mecánico z) Ensayo mecánico	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	FECHA
		10	24/04/2021	

ANEXO L. Resultados ensayos mecánicos

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN REALIZADO POR	Nº1 JONATHAN AQUILES TÚQUERRES MENDOZA
TEMA DE TESIS	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andigena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PELÍCULA BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	T3 A3
REPETICIÓN	3
FECHA DE FRABRICACIÓN	MARZO 2021
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	LÁMINA TRANSPARENTE OPACO
ESPESOR (MM)	0.3
ANCHO (CM)	1.5
LONGITUD INICIAL (M)	0.274
ÁREA (CM2)	0.045
FUERZA (N)	2.9
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (N/CM2)	64.44
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PROMEDIO	80.83

Aprobado por



Ing. Julio Llerena
**TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS
AGROINDUSTRIALES**

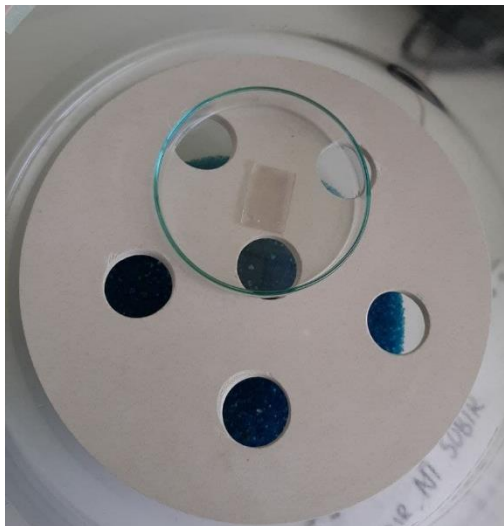
ANEXO M. Permeabilidad al vapor



aa)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021 </p>	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS					
aa) Tubo de ensayo con sílica y cubierto con película elegida	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		<table border="1"> <tr> <th data-bbox="1496 1086 1762 1125">LÁMINA</th> <th data-bbox="1771 1086 2042 1125">FECHA</th> </tr> <tr> <td data-bbox="1496 1125 1762 1163">11</td> <td data-bbox="1771 1125 2042 1163">24/04/2021</td> </tr> </table>	LÁMINA	FECHA	11	24/04/2021	
LÁMINA	FECHA							
11	24/04/2021							

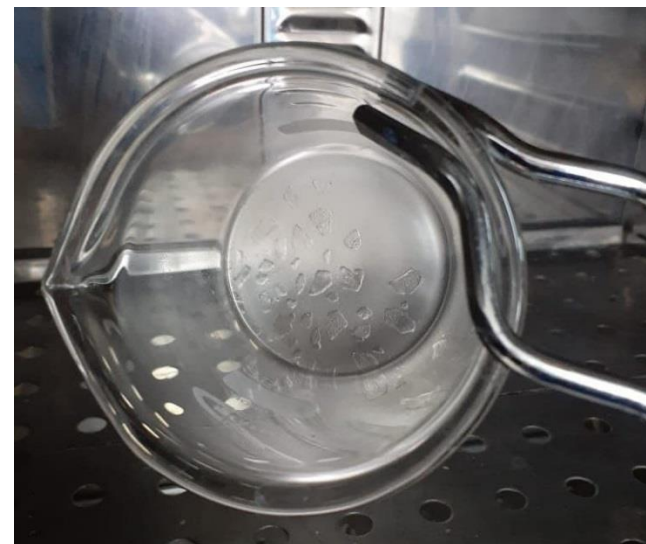
ANEXO N. Solubilidad



bb)



cc)

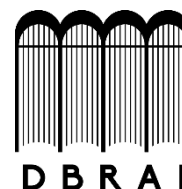


dd)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Túquerres, A. 2021 </p>	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot Esculenta</i>) Y PAPA YANA SHUNGO (<i>Solanum Andígena</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS	
bb) Muestra de película biodegradable en desecador cc) Muestra después de 7 días en el desecador dd) Muestra después de secado en estufa	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por probar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	FECHA
			12	24/04/2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA
INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 29/ 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: JONATHAN AQUILES TÚQUERRES MENDOZA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: CIENCIAS

Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA

Título a optar: INGENIERO QUÍMICO

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.



Pirmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



29-10-2021
1305-DBRA-UTP-2021