



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**Estudio de relaciones de catalizador en la acetilación de almidón de Papa  
China para la aplicación en Film**

**JARA ROMERO DENISSE ALEJANDRA  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**BELDUMA BELDUMA DIEGO BRATZON  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**Estudio de relaciones de catalizador en la acetilación de almidón de  
Papa China para la aplicación en Film**

**JARA ROMERO DENISSE ALEJANDRA  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**BELDUMA BELDUMA DIEGO BRATZON  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Estudio de relaciones de catalizador en la acetilación de almidón  
de Papa China para la aplicación en Film**

**JARA ROMERO DENISSE ALEJANDRA  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**BELDUMA BELDUMA DIEGO BRATZON  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**CEDEÑO SARES LUIS ALBERTO**

**MACHALA  
2024**

# TT DIEGO BELDUMA DENISSE JARA

9%  
Textos  
sospechosos



11% Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas  
3% entre las fuentes mencionadas (ignorado)  
2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TT DIEGO BELDUMA DENISSE JARA.docx  
ID del documento: 0bf879232e6ed214acf28eed1960d4fc0ba4af15  
Tamaño del documento original: 1,22 MB  
Autores: []




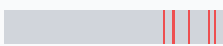

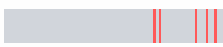

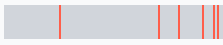

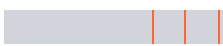
Depositante: LUIS ALBERTO CEDEÑO SARES  
Fecha de depósito: 18/2/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 18/2/2025

Número de palabras: 20.208  
Número de caracteres: 142.452

Ubicación de las similitudes en el documento:








## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <b>TT_2024D2_Chamba_Márquez (2).docx   TT_2024D2_Chamba_Márquez (2)</b> #99f0c1 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (256 palabras)
2	 <b>doi.org   Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modification...</b> <a href="https://doi.org/10.3390/polym15142990">https://doi.org/10.3390/polym15142990</a> 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (125 palabras)
3	 <b>doi.org</b> <a href="https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574">https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (110 palabras)
4	 <b>repositorio.utmachala.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22298/1/Trabajo_Titulacion_2750.pdf">https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22298/1/Trabajo_Titulacion_2750.pdf</a> 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (121 palabras)
5	 <b>repositorio.uaeh.edu.mx   Películas de almidón de papa (Solanum tuberosum L.), e...</b> <a href="https://repositorio.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/8965">https://repositorio.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/8965</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (107 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <b>bibliotecadigital.exactas.uba.ar</b> <a href="https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6429_AlzateCalderon.pdf">https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6429_AlzateCalderon.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	 <b>ojs.unemi.edu.ec   Efecto de gelatina y aceite esencial de mandarina en películas de ...</b> <a href="https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1695">https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1695</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
3	 <b>dspace.epoch.edu.ec   Preparación de films a base de quitosano enriquecido con fl...</b> <a href="http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/8829/3/56T00764.PDF.txt">http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/8829/3/56T00764.PDF.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
4	 <b>unisucru.edu.co</b> <a href="https://unisucru.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/Agroindustria-Productos-Amilaceos-2.pdf">https://unisucru.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/Agroindustria-Productos-Amilaceos-2.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	 <b>repositorio.uns.edu.pe   Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y ...</b> <a href="http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3939">http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3939</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

-  <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817968-0.00006-8>
-  <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2022.107903>
-  <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.03.218>
-  <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>
-  <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14800>

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

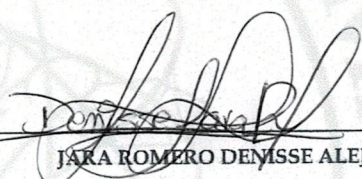
Los que suscriben, JARA ROMERO DENISSE ALEJANDRA y BELDUMA BELDUMA DIEGO BRATZON, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Estudio de relaciones de catalizador en la acetilación de almidón de Papa China para la aplicación en Film, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

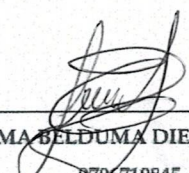
Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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

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

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

  
\_\_\_\_\_  
JARA ROMERO DENISSE ALEJANDRA  
0750168692

  
\_\_\_\_\_  
BELDUMA BELDUMA DIEGO BRATZON  
0796710845

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, Manuel Belduma y María Belduma; son el pilar fundamental en mi día a día para llevar a cabo mis estudios y quienes, con sus consejos, me han hecho una persona perseverante, responsable e íntegra para lograr culminar mi carrera universitaria, logrando así una meta más en mi vida. Finalmente, dedico esta tesis a mis amigos, quienes me han ayudado a lo largo del transcurso de esta vida universitaria, aportándome con sus consejos y porque siempre estuvieron en cada etapa de manera incondicional.

**Diego Belduma**

A mi madre, Sandy Angela Romero Toro, y a mi abuelita, Patricia Cecilia Mora García, les dedico el resultado de mis estudios; a estas valientes mujeres que me han enseñado la perseverancia y constancia en cada cosa que he realizado durante todo mi viaje educativo. Ellas han sido un ejemplo de inspiración y fortaleza en mi vida. Les agradezco profundamente cada palabra de aliento, cada consejo, cada sacrificio y sobre todo el amor que me han dado; ustedes son mi luz brillante que ilumina mi camino y cada decisión que tomo. Mi admiración y gratitud hacia ustedes siempre por sus enseñanzas y crianza que han dejado una huella imborrable en mi vida; las amo profundamente. También a mi amado Ezequiel quien, con cada sonrisa y cada abrazo, me daba más energía y fortaleza para seguir en este camino. Finalmente, dedico este trabajo a mis hermanos y amigos quienes estuvieron en cada paso y de los cuales recibí su apoyo incondicional para alcanzar esta meta.

**Denisse Jara**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme la fuerza necesaria para lograr este objetivo. A mis padres, Manuel Isaías Belduma Belduma y María Trinidad Belduma Gía, por su apoyo económico y emocional estando de manera incondicional a lo largo de mi vida académica, siendo mi mayor fortaleza y motivándome a siempre seguir hacia adelante, a pesar de las dificultades, preocupándose por mi bienestar a lo largo de la Carrera. A mi amiga y compañera, Denisse Jara, le agradezco por su alegría, perseverancia, dedicación y apoyo incondicional al estar siempre a mi lado con palabras de aliento durante la Carrera y de la titulación. A mis amigos, Nicol R, Daniel C, Ámbar M, Andreina C, Nathaly M, por los momentos de alegría vividos junto a ustedes, siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo y ayuda incondicional, en especial a Nicol R, por sus consejos y amistad desde el comienzo de mi vida universitaria. A todos los ingenieros, principalmente Fabián C, Humberto A, Joaquín S, Wilson C, quienes impartieron sus conocimientos y su amistad conmigo. A nuestro tutor el Ing. Luis Cedeño, por darnos su apoyo durante el transcurso de este trabajo de titulación al estar presente en el proceso experimental y escrito de la tesis.

### **Diego Belduma**

Doy gracias a Dios por permitir estar aquí y alcanzar lo que un día soñé. Un profundo reconocimiento a mis suegros Ana Idrovo y Eduardo Cercado por su ayuda incondicional, apoyo y dedicación en la crianza de mi hijo, sin ellos esta meta no se hubiera alcanzado. Mi más sincero agradecimiento a mi compañero de tesis, Diego Bratzon Belduma Belduma, por la paciencia, comprensión, dedicación y apoyo incondicional en cada etapa de este trabajo, por sus palabras de aliento y ser un amigo cuando más lo necesite. También hago un reconocimiento al Ing. Fabián Cuenca, Ing. Wilson Carrión, Ing. Humberto Ayala, Ing. Verónica Bravo e Ing Joaquín Sigüenza. quienes han sido parte importante de mi formación académica con sus conocimientos, brindándome su amistad y consejos. Agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Luis Alberto Cedeño Sales, por la paciencia y todo el conocimiento impartido de su parte, Y, por último, agradezco a mis amigos con quienes hemos pasado este proceso juntos, colaborándonos unos a otros con sus tesis y su invaluable apoyo.

### **Denisse Jara**

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo la finalidad del desarrollo de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de films a partir de almidón acetilado de papa china *Colocasia esculenta* con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*). Para la extracción del almidón nativo se aplicó molienda Húmeda con una solución de ácido cítrico al 0,1% (p/v) donde se obtuvo un rendimiento del  $19,55 \pm 0,66$  %, luego se realizó una modificación química por acetilación usando tres diferentes relaciones estequiométricas catalizador/almidón (0,8;0,7;0,3) con la finalidad de evaluar la efectividad del catalizador con respecto al grado de modificación, reportando que a medida que va disminuyendo la relación estequiométrica catalizador/almidón el grado de sustitución disminuye ( $p \leq 0,05$ ), caso similar ocurre en % grasa, %proteína, %humedad y %ceniza ( $p \leq 0,05$ ) a diferencia de %hidratos de carbono y %fibra , demostrando que las condiciones de la reacción y de las variables afectan la composición proximal de los almidones acetilados; y con respecto a las propiedades funcionales de los almidones al ser sometido a temperaturas crecientes que van desde los 50 °C hasta los 90 °C hay un mayor aumento en sus propiedades, en tanto a su densidad aparente y temperatura de gelatinización se incrementaron a medida que disminuye la relación del catalizador ( $p \leq 0,05$ ), lo contrario del %capacidad de absorción de aceite ( $p \leq 0,05$ ). Para la formulación de los films, se tomó en cuenta el almidón de alto grado de sustitución GS=  $0,1201 \pm 0,0034$ , basándose en un diseño experimental  $3^2$ ; para evaluar el efecto del % de AE orégano y % B:celulosa microcristalina en sus propiedades; determinándose que afecta significativamente ( $p < 0,05$ ) el contenido de humedad y solubilidad en los films disminuyéndolo; mientras tanto las propiedades mecánicas de los films obtenidas el % de AE orégano en las películas disminuye la fuerza de tensión y % B: celulosa microcristalina hará que se requiera de más fuerza de tensión en las películas ( $p < 0,05$ ).

**Palabras Claves:** Acetilación, química, celulosa, física, tensión, película



## ABSTRACT

The purpose of this work was to develop and evaluate the physical and mechanical properties of films made from acetylated starch of Chinese potato *Colocasia esculenta* with microcrystalline cellulose and oregano essential oil (*Origanum vulgare*). For the extraction of native starch, wet grinding was applied with a 0.1% citric acid solution (w / v) where a yield of  $19.55 \pm 0.66\%$  was obtained, then a chemical modification was carried out by acetylation using three different stoichiometric ratios catalyst / starch (0.8; 0.7; 0.3) in order to evaluate the effectiveness of the catalyst with respect to the degree of modification, reporting that as the stoichiometric ratio catalyst / starch decreases the degree of substitution decreases ( $p \leq 0.05$ ), a similar case occurs in % fat, % protein, % humidity and % ash ( $p \leq 0.05$ ) unlike % carbohydrates and % fiber, demonstrating that the reaction conditions and the variables affect the proximate composition of the acetylated starches; and with respect to the functional properties of starches when subjected to increasing temperatures ranging from  $50^\circ\text{C}$  to  $90^\circ\text{C}$  there is a greater increase in their properties, while their apparent density and gelatinization temperature increased as the catalyst ratio decreased ( $p \leq 0.05$ ), the opposite of the % oil absorption capacity ( $p \leq 0.05$ ). For the formulation of the films, the high degree of substitution starch  $GS = 0.1201 \pm 0.0034$  was taken into account, based on a  $3^2$  experimental design; to evaluate the effect of the % of AE oregano and % B: microcrystalline cellulose on their properties; determining that it significantly affects ( $p < 0.05$ ) the moisture content and solubility in the films, decreasing it; Meanwhile, the mechanical properties of the films obtained from the % of AE oregano in the films decreases the tensile strength and % B: microcrystalline cellulose will require more tensile strength in the films ( $p < 0.05$ ).

Keywords: Acetylation, chemistry, cellulose, physics, tension, film

# TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	1
AGRADECIMIENTOS .....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN .....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
JUSTIFICACIÓN .....	14
OBJETIVOS .....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos .....	15
CAPÍTULO I.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
1.1. Papa china variedad <i>Colocasia esculenta</i> origen y taxonomía .....	16
1.1.1. Composición química de la papa china variedad <i>Colocasia esculenta</i> .....	17
1.1.2. Situación actual de la papa china variedad <i>Colocasia esculenta</i> en el Ecuador.....	18
1.1.3. Generalidades del almidón de papa china variedad <i>colocasia esculenta</i> .....	19
1.1.4. Composición del almidón de papa china variedad <i>Colocasia esculenta</i> .....	19
1.1.5. Cristalinidad del almidón .....	21
1.2 Propiedades funcionales del almidón .....	21
1.2.1 Índice de absorción en agua (IAA).....	21
1.2.2 Poder de hinchamiento (PH) .....	22
1.2.3 Índice de solubilidad en agua (ISA).....	22
1.2.4 Capacidad de absorción de aceite (CAA).....	22
1.2.5 Gelatinización del almidón.....	23
1.3 Acetilación de almidones .....	23
1.4 Películas biodegradables .....	24
1.5 Películas derivadas de almidones acetilados de papa china variedad <i>Colocasia Esculenta</i> .	25
1.6 Componentes de soluciones formadoras de películas .....	25
1.6.1 Celulosa microcristalina .....	25
1.6.2 Glicerol.....	25
1.6.3 Tween 80.....	26
1.7 Aceite esencial .....	27
1.7.1 Aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ).....	27
1.8 Mecanismo de formación de películas .....	27

1.8.1 Casting.....	27
1.9 Propiedades mecánicas de las películas biodegradables .....	28
1.10 Propiedades físicas de la película biodegradable .....	29
1.10.1 Porcentaje de solubilidad .....	29
1.10.2 Contenido de humedad.....	29
CAPÍTULO II .....	30
METODOLOGÍA .....	30
2.1 Extracción de almidón.....	30
2.2 Acetilación del almidón .....	30
2.3 Grupos de acetilo y grupos de sustitución del almidón modificado por acetilación .....	31
2.4 Determinación de la composición proximal.....	31
2.5 Determinación de propiedades funcionales del almidón nativo y acetilado .....	32
2.5.1 Determinación del índice de absorción de agua, solubilidad del agua, poder de hinchamiento del almidón nativo y acetilado. ....	32
2.5.2 Determinación de la capacidad de absorción de aceite del almidón nativo y modificado .	32
2.5.3 Determinación de densidad aparente.....	33
2.5.5 Determinación de la temperatura de gelatinización del almidón nativo y acetilados .....	33
2.6 Evaluación de soluciones formadoras de películas de almidón de papa china acetilado y aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ) .....	34
2.6.1 Obtención de soluciones formadoras de recubrimiento .....	34
2.7 Propiedades físicas y mecánicas de las películas a base de almidón acetilado con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ).....	35
2.7.1 Fuerza mecánica.....	35
2.7.2 Contenido de humedad.....	35
2.7.3 Determinación de solubilidad de las películas .....	36
CAPITULO III.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1 Rendimiento de la extracción del almidón.....	37
3.2 Efecto de la modificación por acetilación en las propiedades químicas del almidón de papa china variedad .....	38
3.3 Composición proximal del almidón nativo y acetilado proveniente de la papa china variedad <i>Colocasia esculenta</i> .....	40
3.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china nativo y acetilado.....	43
3.5 Capacidad de absorción de aceite, temperatura de gelatinización y densidad aparente del almidón nativo y modificado.....	45
3.6 Propiedades físicas y mecánicas en films de almidón acetilado, celulosa microcristalina y AE Orégano.....	48

CONCLUSIONES .....	58
RECOMENDACIONES .....	59
ANEXOS.....	87

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía de la papa china (Colocasia esculenta).....	17
<b>Tabla 2.</b> Análisis Proximal de la papa china variedad Colocasia esculenta .....	18
<b>Tabla 3.</b> Diseño experimental de los tratamientos para la formulación de películas de papa china Colocasia esculenta.....	35
<b>Tabla 4.</b> Rendimiento de almidón de papa china variedad Colocasia esculenta .....	37
<b>Tabla 5.</b> Contenido de grupos de acetilo y grados de sustitución a diferentes relaciones de catalizador NaOH 3% .....	38
<b>Tabla 6.</b> Análisis químico proximal de almidones.....	40
<b>Tabla 7.</b> Propiedades funcionales del almidón de papa china Colocasia esculenta .....	45
<b>Tabla 8.</b> Tratamientos para la elaboración de film.....	48
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza para el contenido de Humedad .....	49
<b>Tabla 10.</b> Modelo ajustado para contenido de humedad .....	50
<b>Tabla 11.</b> Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de humedad .....	51
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza para el porcentaje de solubilidad .....	52
<b>Tabla 13.</b> Modelo ajustado para porcentaje de solubilidad .....	53
<b>Tabla 14.</b> Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de solubilidad.....	54
<b>Tabla 15.</b> Fuerza mecánica de las películas de almidón .....	55
<b>Tabla 16.</b> Modelo ajustado para porcentaje de Fuerza Mecánica .....	56
<b>Tabla 17.</b> Modelo de optimización para minimizar la fuerza máxima .....	57

## Tabla de Ilustración

<b>Ilustración 1.</b> Representación esquemática de la estructura de la amilosa y la amilopectina ...	20
<b>Ilustración 2.</b> Tamaño de los gránulos de Almidón de Colocasia esculenta, la variedad morada(A) y la variedad blanca (B) .....	20
<b>Ilustración 3.</b> (%) Acetilo y grupos de sustitución según las relaciones de catalizador (g de NaOH/ g de almidón).....	39
<b>Ilustración 4.</b> Contenido de Humedad.....	40
<b>Ilustración 5.</b> Contenido de hidratos de carbono, fibra y grasa .....	41
<b>Ilustración 6.</b> Contenido de Proteínas y Ceniza .....	42
<b>Ilustración 7.</b> Influencia de la temperatura sobre el poder de hinchamiento (PHi), índice de solubilidad (ISA) y índice absorción de agua (IAA). .....	43
<b>Ilustración 8.</b> Capacidad de absorción de aceite %CAA .....	45
<b>Ilustración 9.</b> Densidad aparente .....	46
<b>Ilustración 10.</b> Temperatura de gelatinización.....	47
<b>Ilustración 11.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de Humedad .....	50
<b>Ilustración 12.</b> Diagrama de superficie de respuesta para contenido de humedad.....	51
<b>Ilustración 13.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de solubilidad .....	53
<b>Ilustración 14.</b> Diagrama de superficie de respuesta para porcentaje de solubilidad .....	54
<b>Ilustración 15.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para fuerza mecánica.....	56
<b>Ilustración 16.</b> Diagrama de superficie de respuesta para la fuerza mecánica en la película....	57

## Índice de Ecuación

Ecuación 1 <i>Rendimiento en Almidon</i> (%) .....	30
Ecuación 2 % <i>Acetilo</i> .....	31
Ecuación 3 <i>Grupos de sustitución</i> .....	31
Ecuación 4 <i>Indice de Solubilidad en Agua</i> .....	32
Ecuación 5 <i>Indice de Absorción de Agua</i> .....	32
Ecuación 6 <i>Poder de Hinchamiento</i> .....	32
Ecuación 7 % <i>Capacidad de Absorción de Aceite</i> .....	32
Ecuación 8 <i>Densidad aparente</i> .....	33
Ecuación 9 % de extracción .....	34
Ecuación 10 <i>Humedad</i> (%) .....	36

## INTRODUCCIÓN

La papa china de variedad *Colocasia esculenta* en el Ecuador, es uno de los tubérculos más importantes a nivel nutricional ya que posee un alto contenido de carbohidratos y almidón. Según la FAO (2019) ocupa el decimocuarto lugar entre los cultivos hortícolas de primera necesidad y es considerado uno de los cultivos más importantes después de la yuca y el plátano (Arana, 2023). Actualmente el Ecuador es uno de los principales exportadores de malanga en el mundo, ocupando el tercer lugar con 9043 millones de dólares de exportación (Trade Map, 2022), del cual un 95 % se exporta a Estados Unidos un monto de 13088 toneladas en el 2018, el 5 % se consume por la población ecuatoriana y comunidad cubana y el resto se consume en Europa. Ecuador, que concentra el 70% de las exportaciones mundiales y es el primer exportador de papa china (Díaz, 2023).

El almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta*, debido a sus características nutricionales es utilizada en la industria alimentaria y también en la producción de biopolímeros de tipo biodegradables, ya que en los últimos años se está aprovechando fuentes renovables de origen vegetal para la elaboración de bioplásticos, por sus características de granulometría que está entre 1 a 6,5 micras, indicando su mayor digestibilidad y su alto contenido de almidón (Songor & Tenesaca, 2019). Por ello es necesario de que se realicen modificaciones en los almidones para mejorar su aspecto físico, químico y funcional. La acetilación es una modificación química que sustituye los grupos hidroxilo del almidón nativo por grupos acetilo, la introducción de estos grupos acetilo reduce la fuerza de enlace entre las moléculas de almidón y por lo tanto altera sus propiedades, proporcionando estabilidad y propiedades funcionales hidrofóbicas.

Con la modificación química de un almidón y la incorporación de plastificantes, se están desarrollando materiales cada vez más competitivos que pueden degradarse completamente en condiciones ambientales, así mismo, la adición de celulosa microcristalina es más eficiente para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los bioplásticos (Nasution et al., 2024), siendo más versátiles los almidones permitiendo su aplicación en múltiples sectores, desde la industria alimentaria hasta la farmacéutica y cosmética. También al agregar aceites esenciales a la formulación de los bioplásticos aporta propiedades antimicrobianas y antioxidantes las cuales ayudarán a alargar el



tiempo de vida útil del alimento y mantener sus características organolépticas (López et al., 2017).

A Partir de lo mencionado, la finalidad del trabajo de investigación es estudiar las relaciones de catalizador en la modificación de almidón de papa china *Colocasia esculenta* para la aplicación en films con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*), por acetilación a diferentes relaciones estequiométricas g catalizador/g de almidón (0.8 ,0.7 y 0.3), considerando que el almidón con mayor grado de sustitución (GS) se lo utilizara para la elaboración de films.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales fuentes de contaminación y que son generados en gran masa son los plásticos que se consumen a diario cuyos contaminantes se conocen por su gran resistencia a la degradación; es decir, pueden persistir una gran cantidad de años causando daños a largo o corto plazo (Espino Penilla & Koot, 2020). Credinform (2023) menciona que el tiempo en que se tarda un plástico convencional en descomponerse es de aproximadamente de entre 100 y 1000 años. Según el *Banco Central del Ecuador* (2019), menciona que todos los sectores que producen alimentos son los que mayormente utilizan plásticos para sus envases, embalaje, conservación de materias primas, la comercialización, por ejemplo, en la industria de Mariscos (camarón y pescado) utilizan un 27% de material de plástico, la producción de bebidas un 15% y finalmente los productos cárnicos con un 14% de plásticos utilizados durante sus procesos.

En el Ecuador, la papa china variedad *Colocasia esculenta* es un valioso cultivo ancestral en la agro diversidad de la Amazonia, que a pesar de ser un tubérculo que tiene características nutricionales altas no es ampliamente conocido por los consumidores ecuatorianos. Al poseer una importante cantidad de almidón lo hace una fuente potencial para aprovechar en la producción de bioplásticos como películas biodegradables, recubrimientos comestibles y películas ,sin embargo, las deficiencias inherentes de los almidones nativos, no cumplen con los requerimientos de la industria, por lo que existen métodos de modificación para mejorar la funcionalidad de almidones y mejorar su aspecto físico-químico y funcional, lo que ayudará a aumentar el alcance de utilidad, la modificación química es uno de los medios para alterar estas propiedades. Por tal razón, Carrión et al., (2023) reporta que, al utilizar almidón nativo para elaborar películas, tienen propiedades mecánicas limitadas y alta permeabilidad al vapor de agua, así mismo la celulosa micro cristalizada y celulosa amorfa las cuales carecen de valor nutritivo y muchas veces son obtenidas por fuentes de síntesis química lo cual afecta negativamente la salud de los consumidores (García et al., 2006).

## JUSTIFICACIÓN

Por esto surge como alternativa potencial la utilización de fuentes renovables como recursos naturales como derivados de productos vegetales, que se pueden utilizar para la producción de bioplásticos, los cuales tienden a degradarse en un periodo de corto tiempo, fuentes como almidones, residuos de vegetales y frutas y celulosa. Agregando a lo anterior, los recubrimientos y películas a partir de almidones da un enfoque innovador para conservar o extender la vida útil de los productos alimenticios perecederos en particular cuando poseen propiedades mecánicas e hidrofóbicas adecuadas, actuando como envase primario sin ningún efecto adverso en los atributos sensoriales u otras propiedades fisicoquímicas del producto alimenticio (Mouzakitis et al., 2022).

Las películas de almidón son una capa fina de material transparente que está compuesta por un polímero, el disolvente y plastificante y puede ser formada sobre un alimento como una cobertura y que puede ser ordenada entre los componentes de un alimento, con la finalidad mantener la calidad de los alimentos y tener un empaque biodegradable (Solano et al., 2020).

La acetilación del almidón permitirá que sus propiedades funcionales se mejoren evitando ganancia de humedad que provoca una modificación en su textura, como el color, aroma y valor nutricional, ya que actúan como barrera contra el intercambio de gases que influye en la estabilidad química y microbiológica, además de evitar el daño mecánico por manipulación (Dicyt, 2012). Es por tanto que esta investigación busca valorar las propiedades físicas y mecánicas de los films a base de almidón acetilado de papa china con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*).

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Estudiar las relaciones de catalizador en la modificación de almidón de papa china *Colocasia esculenta* para la aplicación en films.

### Objetivos específicos

1. Determinar el rendimiento de obtención de almidón nativo de papa china *Colocasia esculenta*, a través de molienda Húmedo.
2. Evaluar el grado de modificación de almidón nativo de papa china variedad *Colocasia esculenta* obtenido con diferentes relaciones de catalizador
3. Analizar la composición proximal y propiedades funcionales del almidón nativo y acetilados proveniente de la papa china variedad *Colocasia esculenta*
4. Valorar las propiedades físicas y mecánicas de los films a base de almidón acetilado de papa china con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*)

## CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

### 1.1.Papa china variedad *Colocasia esculenta* origen y taxonomía

Papa china (*Colocasia esculenta*) o también llamada en diferentes partes del mundo como malanga, taro o bituca fue cultivada por primera vez en Egipto y China desde hace 100 a.C, distribuyéndose por África Occidental por caravanas comerciales hace 2000 años, después a Sudamérica y finalmente al Caribe por el comercio de esclavos (Atar et al., 2022). Sin embargo, Águila et al., (2019) menciona que donde más variabilidad hay de papa china es en Cuba, ya que, en tiempos de conquista los españoles se asentaron en esas zonas, pero así mismo, la región oriental también tiene una importante fuente de variabilidad de este tubérculo. Alrededor del mundo se conocen dos variedades de este tipo de tubérculo una de ella es la malanga blanca variedad *Colocasia Esculenta* de las Antillas y la segunda es la lila *Xanthosoma*, de origen asiático (Sánchez et al., 2023). En el Ecuador el cultivo de papa china, surgió por primera vez de forma comercial en Santo Domingo de los Colorados desde 1995 y ambas variedades de malanga se encuentran en Quevedo, en la actualidad las zonas productoras del Ecuador se encuentran en el Oriente: Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas (Flores et al., 2021).

La papa china es una planta herbácea perenne, perteneciente a la familia *Araceae*, del género *Colocasia* con un gran cormo esférico del que emergen algunas hojas en forma de corazón en la punta de un largo peciolo que alcanza de 1 a 2 m de altura, posee un pedúnculo de la hojas más corto que el peciolo, espata de color amarillo pálido de 30 a 35 cm de largo, de tubo verdoso, la lámina es estrechamente lanceolada, acuminada, convoluta, y levemente curvada hacia atrás en la flor, la inflorescencia femenina es corta mientras que la masculina es larga, cilíndrica y usualmente hay neutros interpuestos entre las dos, el tallo esta levemente hinchado en la base de las vainas de las hojas (Sudhakar et al., 2020).

**Tabla 1.** Taxonomía de la papa china (*Colocasia esculenta*).

Taxonomía de la papa china	
Reino	Vegetal
Clase	Angiosperma
Familia	Aráceas
Especie	Esculenta(L) Scott
Nombre científico	Colocasia Esculenta (L) Scott
Nombres comunes	Papa china o taro

**Fuente:**(Castro Hinojosa, 2022)

### **1.1.1. Composición química de la papa china variedad *Colocasia esculenta***

El tubérculo de papa china variedad *Colocasia esculenta*, en su composición contienen rizomas (partes comestibles) tienen un alto grado nutricional así como energético, debido a que en su estructura constituye en su mayoría de carbohidratos alrededor de 80% y 90% convirtiéndose en una excelente fuente de energía; además, poseen un almidón de 17 a 28 % de amilosa, mientras que el resto es amilopectina, los granos de almidón son muy pequeños y van en diámetro de 1 a 4  $\mu$  debido a particularidad es muy altamente digerible y de naturaleza hipoalergénica al no contener gluten (Caicedo, 2018).

Por otro lado, se reporta que los cormos de papa china variedad *colocasia esculenta* contienen un alto contenido de minerales como: magnesio, calcio, sodio, hierro, potasio, zinc; y entre sus micronutrientes más importantes están vitamina A, vitamina B1, vitamina B2 y vitamina C. (Rivas, PhD, 2020), también contiene aminoácidos esenciales como arginina, leucina, valina y fenilalanina en mayor porcentaje; histidina, triptófano en menor porcentaje (Caicedo, 2018)

**Tabla 2.** Análisis Proximal de la papa china variedad *Colocasia esculenta*

Composición	Papa China (%)
Humedad	69,29± 3,53
Proteína	2,86
Grasa	0,57
Ceniza	1,75± 0,013
Carbohidratos	24,77
Fibra	0,87

*Fuente:*(Brito et al., 2021)

### 1.1.2. Situación actual de la papa china variedad *Colocasia esculenta* en el Ecuador

Según la FAO la papa china variedad *Colocasia esculenta* ocupa la decimocuarta posición entre los cultivos hortícolas de primera necesidad. En el 2016 se reportó que el Ecuador fue el principal exportador de Papa China, se estima un 49% de participación, así mismo, las provincias que presentaron en menor proporción áreas de sembrío de este tubérculo fueron las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Pichincha y Los Ríos y la que contaba con cerca de 2,500 hectáreas sembradas fue el oriente ecuatoriano. (PROECUADOR, 2018). Actualmente el Ecuador tiene una superficie sembrada de aproximadamente unas 4.000 a 5.000 hectáreas de papa china variedad *Colocasia esculenta* y exporta al año 1.500 toneladas de tubérculo fresco, del cual un 95% se exporta a Estados Unidos y el 5% se consume en Ecuador por la comunidad cubana y el resto se consume en Europa. Ecuador, que concentra el 70% de las exportaciones mundiales, es el primer exportador de papa china (Diaz, 2023).

Lizano et al. (2022) menciona que este tubérculo es de ciclo corto productivo y exportable del Ecuador hacia EE.UU. desde la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, la actividad de este tubérculo representa un 50% de participación con alrededor de 700 000 cajas enviadas en el año 2016. Además se hace referencia que las provincias que contribuyeron fueron Orellana aporta con el 60 % de la producción, Sucumbíos con el 35 %, Esmeraldas con el 3 % y Santo Domingo de los Tsáchilas con 1 %. Por otro lado, el Ministerio de Agricultura especifica que Pichincha y Los Ríos generan 0.8 % y 0.2 %.

### **1.1.3. Generalidades del almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta***

Los cormos de papa china pueden contener aproximadamente el 85% de su masa seca como almidón, que consiste en dos polímeros de  $\alpha$ -glucanos: amilosa y amilopectina (Singla et al., 2020). La amilosa es una molécula lineal que consta de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4, en cambio la amilopectina es una molécula ramificada que consta de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 (Jagadeesan et al., 2020).

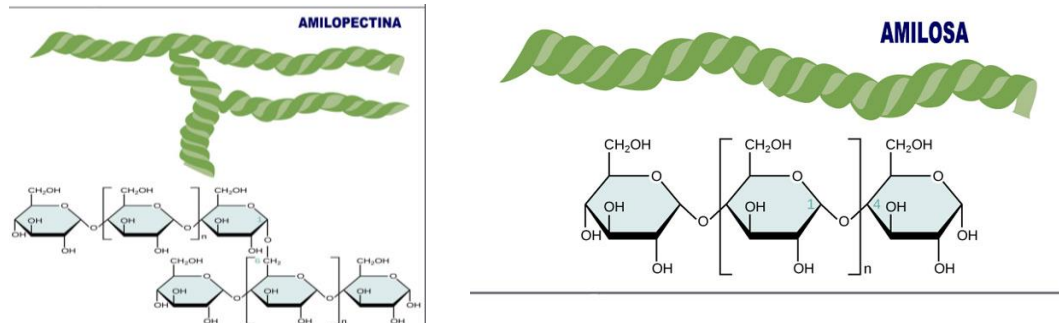
Contiene gránulos de almidón de forma poligonal o irregular más pequeños que tienen diámetros que varían de 1-5  $\mu$ m (Nagar et al., 2021). Dentro de estos, la amilosa y la amilopectina están organizadas de manera compacta, con la amilosa formando estructuras helicoidales y la amilopectina dispuesta en grupos densamente empaquetados. Se organizan en regiones semicristalinas y regiones amorfas. Las regiones semi cristalinas se caracterizan por el empaquetamiento ordenado de las cadenas de glucosa, mientras que las regiones amorfas tienen una estructura más desordenada (Gupta et al., 2024).

### **1.1.4. Composición del almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta***

Los gránulos de almidón presentan una amplia gama de morfologías en diferentes fuentes vegetales. El almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta* tiene como característica unos gránulos poliédricos irregulares con cavidades centrales. (Trujillo et al., 2024). Estos gránulos suelen estar compuestos por dos polisacáridos principales, amilosa y amilopectina, dispuestos en regiones cristalinas y amorfas distintas. (Chakraborty et al., 2020). La amilosa es un polímero lineal  $\alpha$ -1,4 el cual se une con moléculas de glucosa a su alrededor, generando ramificaciones (Trejo Cuevas et al., 2024); al poseer en su estructura grupos hidroxilo le otorga propiedades hidrofílicas a este polímero, impartándole afinidad por el agua, sin embargo, la amilosa tiende a agruparse en forma paralela mediante la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo adyacentes reduciendo esta afinidad. (Rene Ceron, 2013), a mayor contenido de amilosa la región amorfa del almidón disminuye, la región amorfa del almidón es la más susceptible tanto a la degradación enzimática como a la ácida, mientras la región cristalina muestra una mayor resistencia. (Delgado, 2024). La amilopectina, estructuralmente está compuesta de glucosa unida con enlaces  $\alpha$ -1,4 con 4.2 a 5.9% de enlaces  $\alpha$ -1,6 en las ramificaciones posicionadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (Muñiz-Acuña et al., 2023). Su estructura posibilita desarrollar importantes niveles de

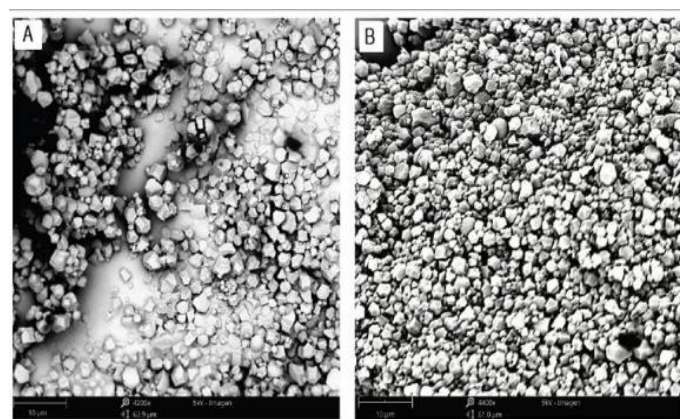


enlaces de hidrógeno, generando estabilidad ante la gelificación durante el almacenamiento de la amilopectina en soluciones acuosas (Ponce & Horna, 2023).



**Ilustración 1.** Representación esquemática de la estructura de la amilosa y la amilopectina

En cuanto a la composición química del almidón de papa china variedad *Colocasia Esculenta* tienen un alto porcentaje de carbohidratos 71,46%; de humedad  $10,33 \pm 3,53$  % ; de proteína un 2,04 -0,26% de grasa ; ceniza un  $0,29 \pm 0,013$  % y fibra un 0,23% (Raúl et al., 2021) ;Así mismo tiene características funcionales en su estructura, consta de un 13,49% de amilosa y otro 85,95% de amilopectina (Rentería et al., 2021). Componentes como la proteína y fibra están en menores cantidades, esto se debe a la forma compleja con compuestos moleculares de los gránulos del almidón nativo y también dependerá del proceso de extracción del almidón. (Estrada et al., 2009)



**Ilustración 2.** Tamaño de los gránulos de Almidón de *Colocasia esculenta*, la variedad morada(A) y la variedad blanca (B).

### **1.1.5. Cristalinidad del almidón**

El grado de cristalinidad del almidón está determinado por el empaquetamiento de hélices dobles de amilopectina formadas por dos cadenas de poli glucósidos en una celda unitaria, lo que podría variar de manera importante dependiendo de la fuente de almidón (Torres & De-la-Torre, 2022). Los almidones de diferentes orígenes botánicos muestran diferentes estructuras polimorfas y diversos grados de cristalinidad relativa. (Yuan & Yongfeng, 2021)

El almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta* tiene una estructura semicristalina que varía entre 15% a 45%, que está vinculada con el contenido de dos tipos de moléculas: la amilosa y amilopectina, que por sus cadenas cortas lineales forman dobles hélices organizadas en una estructura cristalina tridimensional, (Bordas, 2023). Durante el proceso de calentamiento las suspensiones acuosas, el orden molecular dentro de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, por esto la temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón (Martínez et al., 2015). Algunos eventos ocurren durante el proceso: el orden molecular, y por lo tanto la birrefringencia, se pierde; los gránulos pierden su cristalinidad, absorben gran cantidad de agua, provocando el hinchamiento y un aumento en su volumen.

## **1.2 Propiedades funcionales del almidón**

### **1.2.1 Índice de absorción en agua (IAA)**

El parámetro del índice de absorción de agua representa el peso del gel formado por gramo de almidón seco (Lima et al., 2021). Mostrándonos la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón en una muestra dada sometida a un tratamiento térmico, por lo tanto, se considera una propiedad de hidratación (Martins et al., 2022), es decir, es la cantidad de amilosa que hay en el gránulo de almidón que libera de su interior cuando este empieza a absorber el agua y a consecuencia pierde su estructura (Meaño et al., 2014). Por lo que IAA es importante durante el procesamiento de alimentos (mezclas) y fabricación de productos de panificación y embutidos ya que se necesita saber la hidratación previa y posterior al tratamiento térmico. (Trujillo, 2022)

### **1.2.2 Poder de hinchamiento (PH)**

El poder de hinchamiento nos demuestra el grado de interacción de las cadenas de almidón tanto de las regiones amorfas como cristalinas. El proceso de calentamiento del almidón en exceso de agua interfiere en la estructura cristalina del almidón provocado por la ruptura del enlace hidrógeno, a continuación, se forman nuevos enlaces entre grupos -OH del agua y el grupo -OH del almidón, ocasionando el aumento del poder de hinchamiento, que está directamente relacionado con el contenido de amilopectina entre tanto la amilosa resulta en una dilución y actúa como un inhibidor del hinchamiento (Punía et al,2021).

### **1.2.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)**

El índice de solubilidad en agua es una medida de la cantidad de amilosa que se libera desde el interior del gránulo cuando este comienza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua. El almidón sometido a altas temperaturas y exceso de agua, muestra un proceso de gelatinización debido a la ruptura de la estructura cristalina permitiendo la unión de moléculas de agua de grupos -OH de la amilasa y amilopectina a través de enlaces de hidrógeno, promoviendo los procesos de solubilidad (Montoya-Anaya et al., 2023). Así mismo, el ISA depende de la disponibilidad de grupos hidrofílicos que unen moléculas de agua en el almidón, en la mayoría de los sólidos al aumentar la temperatura aumenta su solubilidad, sin embargo, es difícil de prever y varía según la morfología y especie del almidón. (Libre Texts, 2022)

Este comportamiento también puede deberse al tamaño del gránulo y la organización molecular de los componentes del almidón. El almidón de sagú tuvo un comportamiento muy bajo en cuanto al índice de solubilidad de 4g/100ml que al compararlo con el de yuca que fue de 7g/100ml resulta muy bajo, lo que indica que se requiere temperaturas superiores a 60°C para que los gránulos de almidón de sagú absorban agua (Granados et al., 2014)

### **1.2.4 Capacidad de absorción de aceite (CAA)**

La capacidad de absorción de aceite, demuestra la máxima cantidad que puede ser incorporado el aceite en un gramo de material seco (almidón) en presencia de un sobrante de aceite y teniendo acciones de fuerza externa como la centrífuga, homogenización y agitación (Salcedo M et al., 2017).

Salcedo M (2017) menciona que, esta propiedad funcional es importante, ya que, ayuda a mejorar la textura y el sabor de los alimentos, se evalúa tanto en el almidón en forma nativa como acetilado. Para ello se requiere la aplicación de temperatura en parte del proceso, así se llega a comprobar si al aumentar la temperatura, también aumenta el índice de absorción de aceite (Blacio & Santana, 2023).

### **1.2.5 Gelatinización del almidón**

La gelatinización es un proceso endotérmico que se lleva a cabo en dos etapas, la primera etapa consiste en los gránulos de almidón se hinchan debido a la rotura de los enlaces de hidrógeno en las promociónes amorfas del almidón, en la segunda etapa, el agua actúa como plastificante, lo que resulta en la hidratación y el hinchamiento de las regiones amorfas, dando como resultado la ruptura de los enlaces intermoleculares del almidón y se absorbe más agua. (Chakraborty et al., 2022) Al calentarse, la estructura de la amilopectina se altera, lo que genera un descenso de la cristalinidad y se absorbe más agua ocasionando diversos cambios, abarcando la solubilidad del almidón, hinchamiento del gránulo de almidón y la pérdida de la birrefringencia. la penetración del agua hincha el gránulo de almidón, lo que aumenta la aleatoriedad en el gránulo de almidón. Por último, el gránulo de almidón se rompe y se libera amilosa, lo que da lugar al desarrollo de una pasta de almidón, aumentando la viscosidad de la solución, la temperatura de gelatinización del almidón depende de la fuente de almidón, el agua presente, sales, pH, etc. (Bashir & Aggarwal, 2019).

### **1.3 Acetilación de almidones**

Esta modificación da características importantes a los almidones como propiedades funcionales prometedoras como alta solubilidad, absorción de agua, poder de hinchamiento y menor temperatura de gelatinización que los almidones no modificados (Otache et al., 2021). La acetilación del almidón nativo se lleva a cabo por medio de esterificación con anhídrido acético (AA) en el cual los grupos OH del almidón son reemplazados por el grupo de acetilo ( $-\text{COOH}_3$ ) (Vargas et al., 2023). En condiciones básicas a pH 8-8,5, utilizando NaOH como catalizador (Cedeño et al., 2023). El NaOH se encarga de aumentar la carga parcial positiva sobre el átomo de carbono por protonación de uno de los oxígenos del agente con el grupo carboxílico, dando como producto un enlace éster y una molécula de agua (León et al., 2020).

El grado de sustitución (GS) mide la extensión de la reacción de acetilación, definido como el promedio del número de sustitución por unidad de anhidra glucosa en el almidón. El GS tiene un máximo de tres, ya que la unidad anhidro glucosa cuenta con tres grupos OH disponibles en los C2, C3 y C6 (Vargas et al., 2023).

La acetilación depende de varios factores como la concentración del reactivo, tiempo de reacción y pH, que finalmente determinan el número de grupos de acetilo (Yermekov et al., 2021). Añadir grupos de acetilo interfiere la linealidad de la amilosa o segmentos de amilopectina, iniciando la reagrupación de la cadena de almidón hacia una estructura ordenada León et al., 2020).

#### **1.4 Películas biodegradables**

El almidón es un biopolímero muy prometedor debido a su bajo costo de material y capacidad de ser procesado como equipo de procesamiento de plástico convencional, ofreciendo una base a bajo costo muy atractiva para nuevos polímeros biodegradables (Jiang et al., 2020). La amilosa del almidón tiene extraordinarias propiedades formadoras de películas dando características incoloras y transparentes, así mismo, su formación depende primordialmente de las características de retrogradación del almidón (Cui et al., 2021).

La película a base de almidón se ha transformado en un material emergente para el envasado de alimentos, no solo presenta óptimas propiedades fisicoquímicas, más aún después del uso ofrece las características necesarias de degradación deseadas (Su et al., 2023). No obstante, sus malas propiedades mecánicas, hidrofílicas, etc., lo convierte en un material mediocre para aplicaciones de envasado con respecto a los polímeros sintéticos (Srivastava et al., 2024). Una película biodegradable procedente del almidón puede volverse un material de embalaje primario, empleado para proteger y prolongar la vida útil de los alimentos envasados, respaldado por sus propiedades inherentes, que incorpora abundancia, comestibilidad y biodegradabilidad (Onyeaka et al., 2022). Influenciadas por la relación amilosa/amilopectina las biopelículas de almidón producidas con adición de agentes plastificantes y emulsionantes presentan superficies homogéneas y lisas (Sandoval et al., 2021).

## **1.5 Películas derivadas de almidones acetilados de papa china variedad *Colocasia Esculenta***

El almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta* es ideal para el desarrollo de materiales biodegradables a causa de su capacidad para formar geles transparentes, abundancia y rentabilidad, no obstante, existen estudios escasos sobre películas basadas en este almidón (Daza-Orsini et al., 2024).

Los bioplásticos elaborados a partir de almidón de papa china poseen un amplio rango de resistencia a la tracción, es decir, de 18,49 MPa a 89, 32 MPa lo que podría deberse el alto contenido de amilopectina que se encuentra en los tubérculos de papa china en comparación con otros tubérculos (Pinto et al., 2023).

## **1.6 Componentes de soluciones formadoras de películas**

### **1.6.1 Celulosa microcristalina**

La celulosa microcristalina (MCC) se considera un refuerzo deseable para mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos de los polímeros debido a su excelente biodegradabilidad, alta resistencia y bajo costo (Lang et al., 2022). Derivada de la celulosa, tiene una fuerte rigidez cristalina y propiedades mecánicas, estudios científicos sugieren que la incorporación de MCC puede potenciar la resistencia mecánica y las propiedades de barrera de las películas compuestas (Zhai et al., 2021).

Es utilizada en una amplia gama de aplicaciones, para la industria farmacéutica, cosmética, polímeros y alimentaria, como estabilizador, retenedor de agua y emulsionante (Othman et al., 2021). Debido a su alta área de superficie específica, alto grado de polimerización, excelente resistencia mecánica y módulo elástico, buen rendimiento de barrera, propiedades ópticas únicas y propiedades de autoensamblaje (Ren et al., 2023).

### **1.6.2 Glicerol**

Es un plastificante de moléculas pequeñas que se intercala entre las cadenas de polímeros, interrumpiendo los enlaces de hidrógeno y separando las cadenas, aumentando la flexibilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases, se ha utilizado frecuentemente como plastificante para películas de almidón por su compatibilidad con la amilosa (Ballesteros et al., 2020). Promoviendo mejores propiedades mecánicas al interferir con

el empaque de la amilosa disminuyendo las fuerzas moleculares entre las moléculas de almidón (Tarique et al., 2021).

Las películas de almidón nativo presentan restricciones como la fragilidad y la naturaleza hidrofílica, impactando directamente en las propiedades mecánicas y de barrera, afectando al producto alimenticio envasado, estas restricciones se pueden resolver con la adición de plastificantes (Nordin et al., 2020). Los plastificantes son esenciales para mejorar la flexibilidad de las películas al reducir los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas poliméricas al tiempo que aumentan el volumen libre, la efectividad del plastificante está determinada por su compatibilidad estructural con el polímero (Abera et al., 2020).

Como plastificante, el glicerol puede reducir la posesividad entre las moléculas de polímero y aumentar la fluidez de la cadena de polímero, mejorando así la flexibilidad de la película y reduciendo su fragilidad (Zhou et al., 2021).

### **1.6.3 Tween 80**

El Tween 80 es un surfactante hidrofílico, no iónico, ampliamente utilizado en películas, y ha sido mencionado como ingrediente que facilita la miscibilidad de los compuestos de las formulaciones de películas de elementos hidrofílicos e hidrofóbicos (Rocha et al., 2022). Se utiliza habitualmente como emulsionante en productos alimenticios y se considera seguro para el consumo cuando se utiliza dentro de los niveles aprobados, normalmente hasta el 1% (Huang et al., 2024).

Los surfactantes, en particular, son capaces de absorberse en la interfase aceite/agua, reduciendo la tensión interfacial, facilitando el proceso de emulsificación y previniendo fenómenos de desestabilización (Mendes et al., 2020).

Es un componente químico que podría ser incluido en la formulación de las películas para disminuir la tensión superficial, por lo tanto, las películas que con surfactantes presentan una mejor humectabilidad y adhesión. Son sustancias anfifílicas compuesta por grupos hidrofílicos y lipofílicos, el balance entre estas dos partes es conocido como balance hidrofílico/lipofílico (Maniglia et al., 2019).

Como se sabe, el aceite esencial es insoluble en agua, por lo tanto, el aceite esencial generalmente se disuelve en surfactantes para obtener una mejor disolución en soluciones formadoras de películas (Song et al., 2018).

## **1.7 Aceite esencial**

### **1.7.1 Aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*)**

El orégano (*Origanum vulgare L.*), es una especie mediterránea de planta aromática de la familia *Lamiaceae*, especie morfológicamente y químicamente diversa. El aceite esencial de orégano exhibe actividad antioxidante y antimicrobiana, es portador de sustancia como timol y carvacrol un fenol monoterpenoide, representando este último más del 60% de su composición química, destacando en el amplio espectro de actividad, que se extiende al deterioro de los alimentos, hongos, levadura y bacterias patógenas (Walasek-Janusz et al., 2024).

Debido al contenido de timol y carvacrol, el aceite esencial de orégano es un buen antioxidante y protector antibacteriano en la industria de la carne, pan y queso (Ilić et al., 2022). Los aceites esenciales son sustancias hidrófobas habitualmente agregadas en las películas de almidón. La adición de aceites esenciales no solo mejora las propiedades físicas de las películas a base de almidón, sino que también proporcionó propiedades antibacterianas para las películas (Yang et al., 2024).

Esta propiedad les permite interactuar con los lípidos de la membrana celular de las bacterias y las mitocondrias, haciéndolas más permeables al alterar la estructura celular. Además, la incorporación de aceites esenciales a la película provocó una disminución de la resistencia mecánica. Además, las fuertes interacciones intermoleculares de polisacáridos pueden sustituirse parcialmente por interacciones débiles de polisacárido-aceite esencial, lo que da como resultado dominios más flexibles dentro de la película (Criollo-Feijoo et al., 2024).

La incorporación de aceite esencial de orégano aumentó la resistencia a la tracción, la capacidad de elongación, pero redujo la solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de la película en agua, a medida que aumentaba la concentración de aceite esencial de orégano (Martins et al., 2021).

## **1.8 Mecanismo de formación de películas**

### **1.8.1 Casting**

Es el método más común para la formación de películas, se prepara la solución formadora de películas, que es una suspensión de almidón gelatinizado, se vierte en una superficie lisa, la solución extendida se seca en una estufa a temperatura ambiente para evaporar el



solvente, finalmente las películas preparadas se retiran del molde (Cheng et al., 2021). Es económico de implementar, pero tiene algunas limitantes, específicamente es difícil usar a gran escala comercial, y de controlar el grosor y uniformidad de la película, también le dificulta tener una producción continua debido a su alto contenido de agua, largo tiempo de secado y alto consumo de energía, sin embargo, es simple de operar (do Val Siqueira et al., 2021).

Por lo general, la concentración de almidón en el método casting es del 5% al 10%, si la pasta de almidón es menor al 5% se dificulta formar la película luego del secado, o si es superior al 10%, la pasta muestra poca fluidez y no es conducente al vertido (Cui et al., 2021).

### **1.9 Propiedades mecánicas de las películas biodegradables**

Se definen como aquellas que se asocian a la elasticidad, frente a la aplicación de la fuerza, la evaluación de estas propiedades permite conocer su comportamiento ante la manipulación, el almacenamiento y las condiciones ambientales a las que se enfrentará el material (Lara-Gómez et al., 2022).

Una resistencia mecánica es una característica clave del envasado de alimentos, asegurando que el envase puede conservar la calidad del alimento envolviendo por completo, el alargamiento a la rotura y la resistencia a la tracción son dos parámetros utilizados para expresar las propiedades mecánicas de las películas (Abedi-Firoozjah et al., 2023).

Para el envasado de alimentos las películas deben tener una alta resistencia a la tracción y módulo elástico para proporcionar robustez. Junto con un alargamiento razonable a la rotura para que pueda estar expuesta a diversas tensiones durante el procesamiento y envío sin romperse (Lauer & Smith, 2020).

#### **Elongación**

La elongación es una propiedad mecánica que determina la capacidad que tiene un plástico o material para extenderse o deformarse al máximo antes de su rotura. (Grossman, 2017) El porcentaje de elongación es la diferencia entre el porcentaje de elongación o de alargamiento del material cuando se fractura en una prueba normalizada de tensión.

## **1.10 Propiedades físicas de la película biodegradable**

### **1.10.1 Porcentaje de solubilidad**

El porcentaje de solubilidad de la película en la fase acuosa es un criterio importante para investigar la biodegradabilidad de las películas, una solubilidad baja indicaría una alta resistencia al agua y viceversa. En algunos casos la menor solubilidad de la película es muy útil en aplicaciones de almacenamiento, una mayor solubilidad conduce a una mayor biodegradabilidad (Hiremani et al., 2020).

La solubilidad en agua de las películas es un parámetro que indica el grado de combinación entre los constituyentes de las películas compuestas, como la resistencia al agua (Yurong & Dapeng, 2020). La prueba de solubilidad en agua se puede utilizar para determinar la hidrofobicidad o hidrofobicidad de las muestras. Es un parámetro crítico y es necesario caracterizar la soldabilidad en agua de las muestras antes de que puedan usarse comercialmente (Nizam et al., 2021). Para las aplicaciones que pueden requerir insolubilidad en agua, la solubilidad en agua de las películas a base de almidón es una propiedad clave para mejorar la resistencia al agua, así como su integridad del producto (Ibrahima et al., 2019).

### **1.10.2 Contenida de humedad**

Representa el volumen libre ocupado por las moléculas de agua en la red de la película, las condiciones de almacenamiento también pueden afectar el contenido de humedad de las películas, aumentando ligeramente cuando las películas se almacenan en alta humedad relativa y oscuridad (Yong & Liu, 2020).

La capacidad de retención de humedad es muy importante para las películas de empaques de alimentos, además, con un aumento en la concentración de componentes activos la capacidad de retención de humedad en las formulaciones de películas aumenta (Mustafá et al., 2019).

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1 Extracción de almidón

El almidón de papa china se obtuvo en base a Díaz et al (2023) con ciertas modificaciones. La papa china variedad *Colocasia esculenta* fueron seleccionadas entre un rango de 10 a 12 cm, las cuales fueron peladas y cortadas en trozos para luego ser sumergidos durante 30 minutos en una solución de ácido cítrico al 0,1% (p/v) en una relación 1:2. Las rodajas se molieron junto con la solución en un procesador de alimentos (KitchenAid) durante 2 minutos, esto con la finalidad de reducir el tamaño de la partícula, la lechada de almidón se filtró en un lienzo para eliminar la fibra y la masa resultante se lavó cinco veces con agua destilada. Se sedimenta por 24 horas a temperatura de 10°C, para luego eliminar sobrenadante, lo restante se centrifugó a 2500 rpm durante 5 minutos, en una centrífuga Corning LSE, para luego ser sometido a secado en una estufa marca MEMMERT hasta alcanzar los 60 °C, durante 24 horas, culminado este tiempo se procedió a la molienda en mortero de porcelana, para controlar granulometría homogénea se hizo pasar por tamiz N.º60; luego se almacenó se obtuvo se almacenó en frascos ámbar de plástico, La extracción se realizó en 6 tratamientos, verificando la desviación estándar y coeficiente de varianza; para determinar el rendimiento se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento en Almidon}(\%) = \frac{\text{masa del almidón}(g)}{\text{masa de la porción comestible}(g)} \times 100\% \quad (\text{Ecu } 1)$$

### 2.2 Acetilación del almidón

Para la modificación del almidón nativo se utilizó la metodología descrita por Guerra et al., (2008) con ciertas modificaciones. Se pesaron 15 gramos de almidón y se mezclaron con 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación a temperatura ambiente, se agregó NaOH 3% a diferentes relaciones estequiométricas de catalizador (0,8;0,7;0,3) g de NaOH/ g de almidón a temperatura ambiente, para obtener almidones con diferentes grados de sustitución, manteniendo el pH entre 8 - 8,4 utilizando un potenciómetro Thermo Scientific, con la adición gota a gota de anhídrido acético a un volumen de 15 ml, se mantiene en agitación constante de durante 30 minutos a 2000 rpm cuando el pH se

haya estabilizado, después de que el tiempo se haya terminado se ajustó el pH a 4 con HCl 1N. Luego se para la agitación y se llevó a decantar, se elimina el agua restante y el sedimento(almidón) se filtra y se da dos lavadas con 250 ml de agua destilada para después llevarlo a centrifugación a 2500 rpm en una centrífuga Corning LSE durante 15 minutos y se lavó con 150 mL de alcohol etílico al 96 % y por última vez se lavó con agua destilada. Para finalizar el almidón ya modificado se secó en una estufa MERMET a 50 °C por 16 h, luego se molió y se pasó por un tamiz de malla N°60.

### **2.3 Grupos de acetilo y grupos de sustitución del almidón modificado por acetilación**

Para la determinación del porcentaje de grupos de acetilo y el grado de sustitución logrado, se usó la metodología de Trela et al., (2020) con ciertas modificaciones, se pesó un 1 g de almidón nativo y modificado en base seca (bs) en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se agregó 50 ml de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína. La muestra se neutralizó con NaOH 0,1 N, luego se agregó 25 ml de NaOH 0.45 N agitando vigorosamente durante 30 minutos. Las muestras saponificadas se titularon con HCL al 0,2 N y al mismo tiempo se valoró un blanco de almidón nativo.

$$\%Ac = \frac{(\text{blanco} - \text{muestra}) \times \text{NHCL} \times 0.043 \times 100}{\text{gramos de la muestra (bs)}} \quad (\text{Ecu 2})$$

$$GS = \frac{162 * \%Acetilo}{4300 - (42 * \%Acetilo)} \quad (\text{Ecu 3})$$

### **2.4 Determinación de la composición proximal**

Para la determinación de la composición proximal tanto del almidón nativo como del almidón acetilado se utilizaron diversos métodos como el método WEENDE para la cuantificación del contenido de fibra, para los lípidos y las cenizas se emplearon los procedimientos que se encuentran descritos en las normas AOAC 2003.06.07.08 y AOAC 923.03.04.05, para la valoración del carbohidrato se delimitó a través de una operación matemática por diferencia de componentes y DHUMAS para el cálculo del porcentaje de proteínas.

## 2.5 Determinación de propiedades funcionales del almidón nativo y acetilado

### 2.5.1 Determinación del índice de absorción de agua. solubilidad del agua, poder de hinchamiento del almidón nativo y acetilado.

Según la metodología descrita por Chamorro et al., (2022) con algunas modificaciones. Este procedimiento se realiza tanto al almidón nativo y acetilados a diferentes relaciones estequiométricas g catalizador/g de almidón (0,8;0,7; 0,3) g de NaOH/ g de almidón Se peso 1,25 g de almidón (bs), se disolvió en 30 ml de agua destilada a 60 °C, inmediatamente se llevó a un baño de agua a 50, 60, 70, 80 y 90 °C, durante 30 minutos después de 10 minutos se agitó la suspensión, posteriormente las suspensiones fueron centrifugadas en una centrífuga a 4900 rpm durante 30 minutos. Finalizando la centrifugación, se logra la separación del sobrenadante, el volumen (V) del sobrenadante se midió y el gel del tubo de centrífuga se pesó en una balanza analítica, se tomó una muestra de 10 ml del sobrenadante y se depositó en la caja Petri, previamente pesado y secada, las cajas se depositaron en una estufa MERMET a 70 °C durante 16 horas.

$$ISA = \frac{(\text{pesosoluble}(g) \times V \times 10)}{\text{pesosoluble}(g)} \quad (\text{Ecu 4})$$

$$IAA = \frac{\text{pesodelgel}(g)}{\text{pesodelamuestra}(g)bs} \quad (\text{Ecu 5})$$

$$PH = \frac{\text{pesodelgel}(g)}{\text{pesodelamuestraseca}(gbs - \text{pesosoluble}(g))} \cdot 100 \quad (\text{Ecu 6})$$

### 2.5.2 Determinación de la capacidad de absorción de aceite del almidón nativo y modificado

La capacidad de absorción de aceite se determinó usando la metodología descrita por Cedeño et al., (2024) con ciertas modificaciones, en un tubo de centrífuga, previamente pesado, se depositó un 1,0 g de muestra en base seca (bs) y se mezcla con 10 ml de aceite comestible. se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos, posteriormente se centrifugó a 3500 rpm durante 25 minutos y se eliminó el aceite sobrenadante, finalmente, los tubos se pesaron en una balanza analítica.

$$\%CAA = \frac{\text{masadeaceiteretenido}(g)}{\text{masademuestra}(g)} \times 100 \quad (\text{Ecu 7})$$

### 2.5.3 Determinación de densidad aparente

La densidad del aparente del almidón se determinó siguiendo la metodología detallada por Chaparro et al., (2020), en donde se pesa una probeta graduada previamente lavada y secada en la balanza analítica Marca RADWAG AS 220.R2 PLUS, a continuación, se adiciona la muestra de almidón hasta el volumen total, el peso total se registra. Este proceso se realiza por triplicado aplicando la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{(\text{Pesoprobeta} + \text{almidónsuelto}) - \text{pesoprobetavacia}(g)}{50\text{ml}} \quad (\text{Ecu } 8)$$

### 2.5.5 Determinación de la temperatura de gelatinización del almidón nativo y acetilados

Para determinar la temperatura de gelatinización de los almidones se utilizó la metodología de Salmon et al., (2023) con ciertas modificaciones. Se peso 3 gramos de almidón de papa china *Colocasia esculenta* nativo y acetilados, se adiciono 30 ml de agua destilada y luego se llevó a una placa de calentamiento (Ms7-H550-PRO) con una agitación constante de 250 rpm y con termómetro se registró la temperatura de gelatinización, teniendo en cuenta que se tiene que dar la formación de gel, de igual manera con los acetilados. Se aplico ANOVA para la verificación de la temperatura de cada tratamiento.

### Extracción de aceite esencial de orégano

El proceso de extracción de aceite esencial de orégano se realizó siguiendo la metodología propuesta por Mera, (2020) con algunas modificaciones.

La hidrodestilación del aceite esencial se realizó en un equipo Clevenger durante 4 h con las hojas secas de orégano sumergidas en agua destilada proporción 200:1000 (g/ml), con una temperatura de 100 °C. La hidrodestilación consistió en la suspensión de las hojas de orégano, que a continuación se somete a ebullición del agua, se mide el rendimiento por cada ciclo de 4 horas de destilación. El aceite esencial que se obtuvo se transfirió

inmediatamente a un frasco ámbar para su almacenamiento a 4 °C, el porcentaje de extracción se determinó según la ecuación aplicada por Cardona & Díaz, (2022).

$$\% \text{ de extracción} = \frac{\text{Volumen de extracto (mL)}}{\text{Peso de materia vegetal (g)}} \times 100 \quad (\text{Ecu 9})$$

## **2.6 Evaluación de soluciones formadoras de películas de almidón de papa china acetilado y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*)**

### **2.6.1 Obtención de soluciones formadoras de recubrimiento**

Para obtener la formulación de las diferentes soluciones formadoras de películas se aplicó un diseño experimental  $3^2$ , empleando el programa estadístico Statgraphics Centurión XVII.I, para evidenciar el efecto del porcentaje de AE de orégano (*Origanum vulgare*) (1;1,25;1,5 % p/v) y porcentaje de CMC (0,15;0,1;0,2 %) en las propiedades físicas y mecánicas de las películas.

También para elaborar las soluciones formadoras de películas se utilizó la metodología de Shen et al., (2020), con ciertas modificaciones. Se preparó una solución con el almidón modificado que tiene el mayor grado de sustitución al 4% (p/v) el cual será constante y se calentó en una plancha (Ms7-H550-PRO) a una temperatura de 66°C con agitación constante de 600 rpm durante 20 min, después se agregó 3% (p/v) de glicerol y la celulosa microcristalina en diferentes proporciones (0,1 ;0,15; 0,2 p/v) respecto a la solución total. Estos componentes se homogeneizaron a 700 rpm durante 10 min. Luego, se dejó enfriar a 35 °C y se agregó aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) en diferentes concentraciones (1; 1,25;1,50 p/v) y Tween 80 al 0,1% (p/v) respecto a la solución total, inmediatamente se homogeneizó a 1000 rpm durante 5 min. Posteriormente, la solución filogenética se vertió en moldes antiadherentes (aproximadamente 100 mL) que se dejaron en una estufa MERMET a 65 °C por 15 h hasta que se formaron las películas. Para finalizar, las películas se desmoldan y se utilizan para los respectivos análisis. Las películas obtenidas se codificaron como se detalla en la siguiente tabla:

tabla

**Tabla 3.** Diseño experimental de los tratamientos para la formulación de películas de papa china *Colocasia esculenta*

Tratamiento	Aceite esencial % P/V	Celulosa microcristalina % P/V
1	1,0	0,15
2	1,5	0,1
3	1,25	0,2
4	1,0	0,2
5	1,25	0,1
6	1,5	0,2
7	1,25	0,15
8	1	0,1
9	1,5	0,15

Parámetro constante: 4% de almidón de papa china en mL de solución (p/v), plastificante 3% (p/v) y Tween 80 al 0,1% (p/v)

## **2.7 Propiedades físicas y mecánicas de las películas a base de almidón acetilado con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*)**

### **2.7.1 Fuerza mecánica**

Para determinar las propiedades mecánicas de las películas de almidón acetilado de papa china variedad *Colocasia Esculenta* con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*), se utilizó el texturómetro TX-700/TX-900, y generalmente para la tensión de un film se utiliza el accesorio TX-FTF en modo Tensile, se utilizaron muestras rectangulares de 7cm x 4cm para cada películas lo hizo por triplicado a una temperatura ambiente, con una velocidad de 15 mm/s y una posición de retorno de 15 mm.

### **2.7.2 Contenido de humedad**

Para determinar el contenido de humedad de las películas de almidón modificado de papa china *Colocasia esculenta* se utilizó una balanza analítica y se pesaron 0,15 g de muestra de la película para luego ser colocadas en cápsulas de porcelana previamente secas, para ser sometidas a un proceso de secado en la estufa MERMET a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, terminado el tiempo se sacan las muestras de la estufa y son llevadas a



un desecador para que se enfríen y luego pesar en una balanza analítica RADWAG AS 220.R2 PLUS (Indrianti et al., 2018)

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \cdot 100 \quad (\text{Ecu } 10)$$

m1: peso de la cápsula + peso inicial de la muestra (g)

m2: peso de la cápsula + peso de la muestra seca (g)

m: peso de la cápsula de porcelana (g)

### 2.7.3 Determinación de solubilidad de las películas

La solubilidad de las películas se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Tirado-Gallegos et al., (2024) con ciertas modificaciones. La solubilidad de la película se realizó a temperatura ambiente, se cortaron piezas de películas (2 × 3 cm), se pesaron y colocaron en vasos precipitados de 150 mL y se adicionaron 80 mL de agua destilada, se realizaron por triplicado para cada tratamiento de las películas. Las muestras fueron llevadas a una placa de calentamiento (Ms7-H550-PRO) a 25 °C y 80 °C a una agitación constante de 250 rpm se conservaron bajo agitación constante (250 rpm) durante 1 después de haber culminado el tiempo se eliminó el exceso de agua y el material soluble se colocó en cajas Petri para luego ser llevadas a la estufa MERMET a 60 °C. Para determinar el porcentaje de solubilidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Solubilidad}(\%) = \frac{\text{Pesoinicialdelamuestra} - \text{Pesodelamuestraseca}}{\text{Pesoinicialdelamuestra}} \times 100 \quad (\text{Ecu } 11)$$

**CAPITULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**3.1 Rendimiento de la extracción del almidón**

*Tabla 4. Rendimiento de almidón de papa china variedad Colocasia esculenta*

Tratamiento	Peso de papa china ( <i>Colocasia esculenta</i> ) (g)	Peso de almidón extraído (g)	Rendimiento (%)
1	2273	356,6	20,4
2		342,05	18,75
3		337,86	19,62
4		348,49	18,98
5		360,01	19,85
6		355,01	19,58
Total		13638	
$\bar{x} + \sigma$		350,00±8,73	19,52±0,66
Coef. de variación		0,0250	0,0342

Fuentes: Los autores.

Simbología: gramos = g, Porcentaje = %, Media aritmética =  $\bar{x}$ , Desviación estándar =  $\sigma$

En la tabla 4, se registra el rendimiento de almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta*, los datos obtenidos tienen una distribución normal según la prueba estadística W de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), el rendimiento de almidón de papa china fue de  $19,52 \pm 0,66$  %, según Singla et al., (2020) y Boahemaa et al., (2024), reportan valores de entre 16% y 18% de rendimiento en el mismo almidón. Mientras que Chuiza et al., (2021) y Sánchez et al., (2023) en sus investigaciones reportaron rendimientos superiores al 20%, la diferencia de estos rendimientos se puede atribuir a la edad de cosecha del tubérculo, los métodos de obtención aplicados y el tipo de reactivo químico que influya en el proceso.

### 3.2 Efecto de la modificación por acetilación en las propiedades químicas del almidón de papa china variedad

Mediante la tabla 5 se representa la influencia del catalizador NaOH 3% a diferentes relaciones estequiométricas g catalizador/g de almidón (0,8;0,7;0,3) g de NaOH/ g de almidón en la acetilación, demostrando una distribución normal de datos según el estadístico W de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 5.** Contenido de grupos de acetilo y grados de sustitución a diferentes relaciones de catalizador NaOH 3%

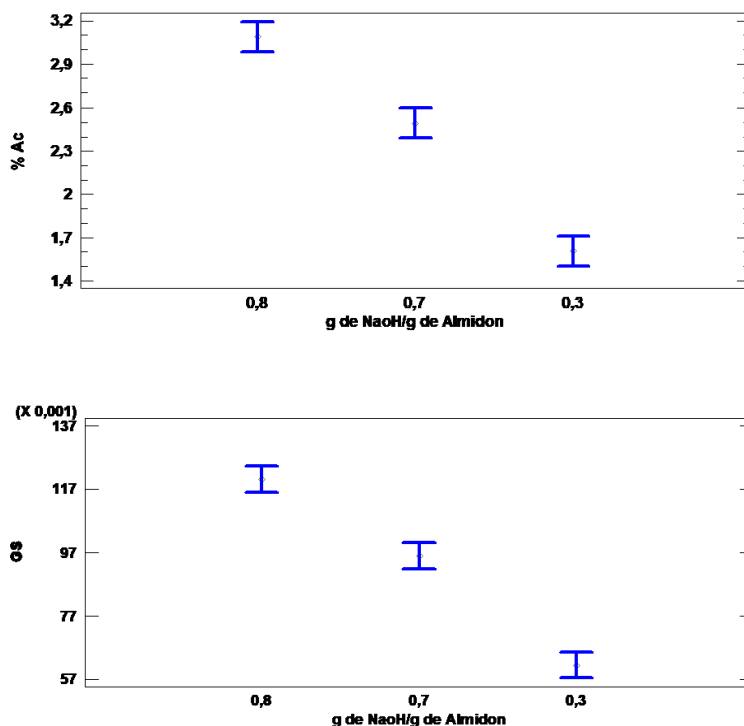
Relación (g de NaOH/ g de almidón)	Masa de almidón de papa china (g)	% Acetilo	GS
0	15	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
0,8	15	3,09±0,08 <sup>b</sup>	0,1201±0,0034 <sup>b</sup>
0,7	15	2,49±0,09 <sup>c</sup>	0,0961±0,0036 <sup>c</sup>
0,3	15	1,60±0,13 <sup>d</sup>	0,0613±0,0051 <sup>d</sup>

Fuentes: Los autores

*Promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas debido a la reacción de acetilación*

La tabla 5 muestra el efecto de la acetilación a diferentes relaciones estequiométricas de catalizador sobre el porcentaje de acético (%Ac) y el grado de sustitución (GS) de los almidones de papa china. El GS y el %Ac de los almidones disminuyeron significativamente ( $p \leq 0,05$ ), con forme las relaciones estequiométricas de g de NaOH/ g de almidón van disminuyendo, siendo que las condiciones como las relaciones estequiométricas afectan a esta modificación química. En relación a esto Tupa et al., (2015) menciona que el aumento de la concentración de catalizador da como resultado valores más altos de GS.

**Ilustración 3.** (%) Acetilo y grupos de sustitución según las relaciones de catalizador (g de NaOH/ g de almidón)



En la ilustración 3 correspondiente a las medias, demuestran que la disminución del porcentaje de acetilo y grados de sustitución se ve influenciada por la disminución de las relaciones estequiométricas de g de NaOH/ g de almidón a una concentración de NaOH al 3%. De acuerdo a lo reportado en la ilustración 3, se establece que la relación 0,8 de g de NaOH/ g de almidón, se determinó un %Ac 3,09 y GS de 0,1201 y la relación 0,3 se determinó un %Ac 1,60 y GS de 0,0613 lo que evidencia el descenso del porcentaje de acetilo y grados de sustitución a medida que disminuye la relación estequiométrica del catalizador.

Lo que concuerda con lo reportado por Trela et al., (2020) en el estudio de almidón acetilado de yuca, el porcentaje de acetilo y grupos de sustitución fue aumentando de 9,94 % y 0,41 hasta 25,51% y 1,28 a medida que aumentaba la concentración de NaOH. De igual forma en la investigación de El Halal et al., (2015) los almidones de cebada acetilados a diferentes niveles de catalizador presentando un GS que oscilaban entre 0,08 y 0,31, demostrando un aumento significativo con el aumento de la concentración de catalizador.

### 3.3 Composición proximal del almidón nativo y acetilado proveniente de la papa china variedad *Colocasia esculenta*

**Tabla 6.** Análisis químico proximal de almidones

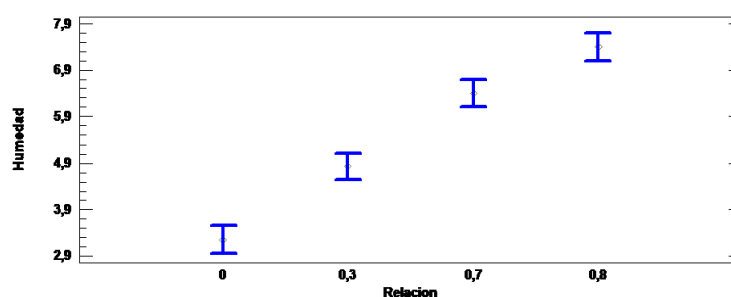
Relación	Humedad %	Ceniza %	Grasa %	Proteína %	Fibra %	Hidratos de carbono %
0	3,26±0,15 <sup>a</sup>	2,18±0,23 <sup>a</sup>	0,63±0,05 <sup>a</sup>	1,98±0,066 <sup>a</sup>	0,18±0,005 <sup>a</sup>	92,69±0,69 <sup>a</sup>
0,8	7,39±0,51 <sup>b</sup>	2,91±0,05 <sup>b</sup>	0,5±0 <sup>b</sup>	1,40±0,066 <sup>b</sup>	0,09±0,005 <sup>b</sup>	87,92±0,557 <sup>b</sup>
0,7	6,40±0,06 <sup>c</sup>	2,80±0,17 <sup>b</sup>	0,4±0 <sup>c</sup>	1,16±0,090 <sup>c</sup>	0,11±0,005 <sup>c</sup>	89,20±0,105 <sup>c</sup>
0,3	4,83±0,30 <sup>d</sup>	2,66±0,24 <sup>b</sup>	0,3±0 <sup>d</sup>	0,87±0,070 <sup>d</sup>	0,15±0,01 <sup>d</sup>	91,21±0,590 <sup>d</sup>

Fuente: Elaboración propia

*Promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas debido a la reacción de acetilación ( $p < 0.05$ ).*

De acuerdo a lo reportado en la tabla 6, se aplicó requisitos estadísticos como prueba de normalidad de datos y verificación de varianza W de Shapiro-Wilk ( $p \leq 0,05$ ); lo que permite establecer un ANOVA simple, en donde se evidencia que existe una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en la composición proximal del almidón, incluyendo humedad, ceniza, grasas, proteína, fibra e hidratos de carbono, basándose en las diferentes relaciones estequiométricas de catalizador g de NaOH/ g de almidón.

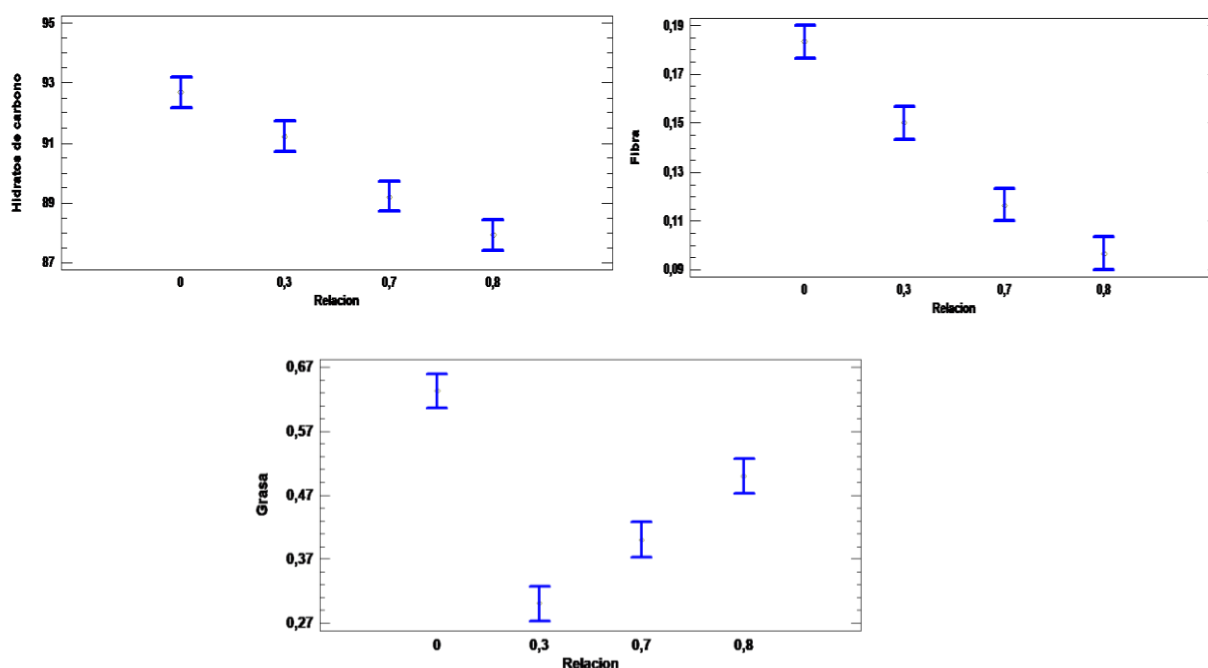
**Ilustración 4.** Contenido de Humedad



En los almidones acetilados, se observó que hay una disminución en el porcentaje de humedad cuando las relaciones a las reacciones estequiométricas, (Ilustración 4), siendo la relación (0,3) con el porcentaje de humedad más bajo 4,83 % y la relación (0,8) con una humedad de 7,39 % el más alto, esta propiedad va a depender de las condiciones de almacenamiento de las muestras, así mismo la humedad relativa del ambiente y el tipo

de extracción del almidón nativo; datos similares se reportaron en la investigación de Calva & Zhingri, (2023) en el mismo tubérculo y en Rindón (2007), en el almidón de semillas de fruto de pan, donde se observa un incremento en la humedad del almidón acetilado; a diferencia de Torres et al., (2015 ) y Chacha & Córdova, (2020) que evidenciaron que el almidón acetilado de papa china (*Colocasia Esculenta*) hay una disminución en la humedad . Estas diferencias se deben a que existen diferentes técnicas de obtención de almidón y metodologías para la determinación de humedad, Torres et al., (2013) concluyó que el método Karl Fischer se obtenían valores de humedad ligeramente mayores, agregando también Waldyr et al., (2015) menciona que un método estandarizado es precisos y fiable como AOAC y AACC, los fueron utilizados por Calva & Zhingri, (2023) y Rincón et al, (2007).

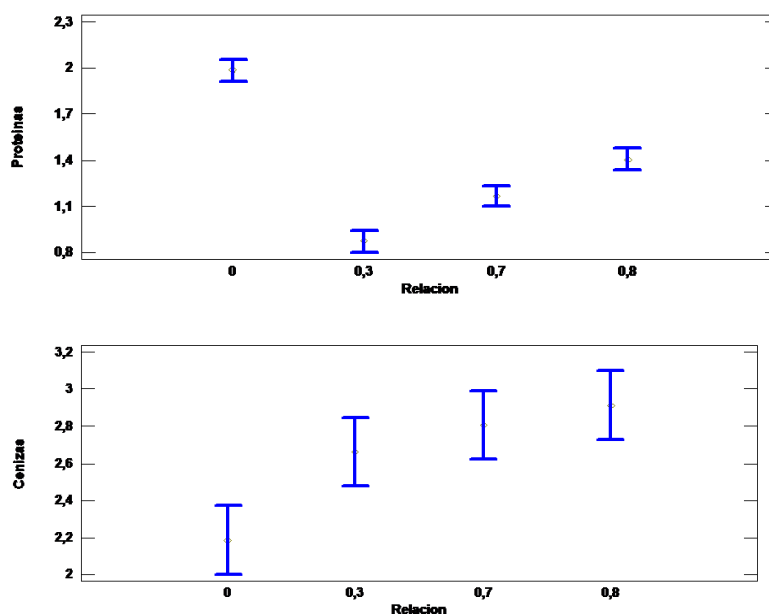
*Ilustración 5. Contenido de hidratos de carbono, fibra y grasa*



En la ilustración 5, se muestra el contenido de hidratos de carbono, fibra y grasa en el almidón nativo cuando es sometido diferentes relaciones estequiométricas de catalizador g de NaOH/ g de almidón. La estadística refleja un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en el contenido de hidratos de carbono y fibra, cuando el volumen de catalizador va decreciendo, como podemos observar en ambos casos inicialmente el almidón nativo es rico en estos tres compuestos. Datos similares fueron reportado por Calva & Zhingri (2023) y Pacheco, (2021) que evidencia valores bajos de fibra en el almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta*. Está tendencia en la composición de los carbohidratos se

debe a la hidrólisis y despolimerización, ya que, el NaOH forma azúcares más simples lo que conlleva a una reducción del contenido de carbohidratos, además al aumentar el volumen del catalizador la reacción acelera y produce una mayor disminución en el mismo. Por otro lado, el % grasa va disminuyendo en cuando la relación va decreciendo, datos similares reporta Torres et al., (2015) una disminución en cuanto a la grasa conforme las relaciones estequiométricas bajan. Datos que concuerdan con los requerimientos de almidón, establecidos por el Instituto Ecuatoriano de normalización INEN 616:(2015), siendo 2% en grasas y 1% en fibra.

**Ilustración 6. Contenido de Proteínas y Ceniza**



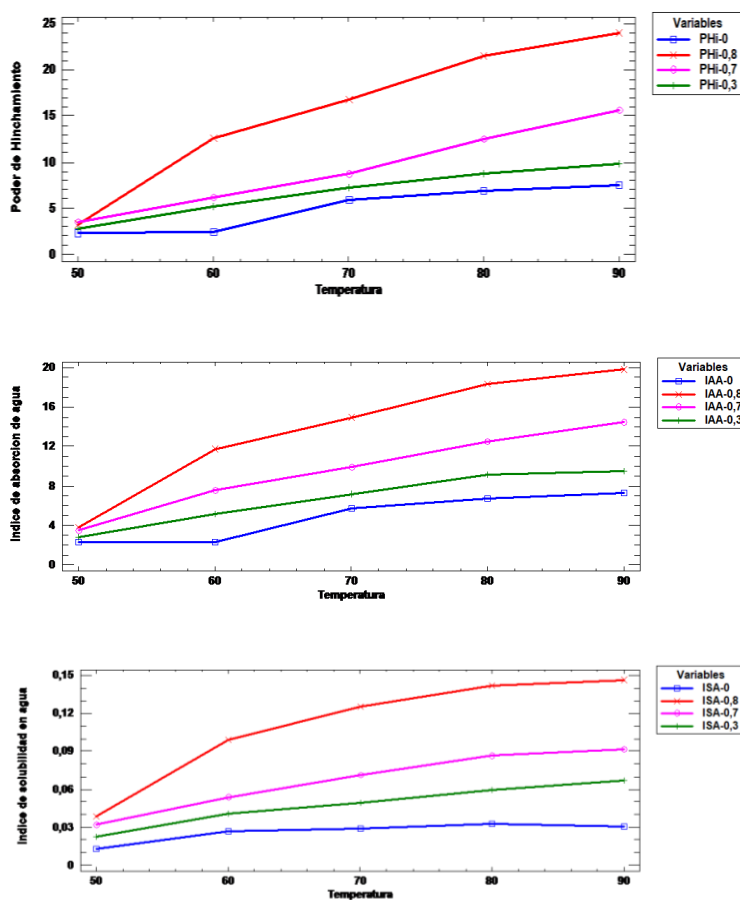
En la ilustración 6, se detallan los datos del contenido de proteínas y ceniza del almidón acetilado de papa china *Colocasia esculenta*. Se muestra que la reacción con NaOH al 3% con la relación (0,8) hasta la relación (0,3) (g de NaOH/ g de almidón, hay una diferencia significativa decreciente a medida que la relación va avanzando, esto se debe a que el almidón reaccionando con el NaOH se hidrolizan convirtiéndolos en moléculas más pequeñas y llevando a una reducción de las mismas, casos similares en las investigaciones de Vargas et al., (2016), Torres et al., ( 2015 ) y Calva & Zhingri (2023), que se reportan las mismas tendencias en ambos componente, tanto en el almidón nativo como en el acetilado de papa china (*Colocasia esculenta Schott*).

### 3.4 Propiedades funcionales del almidón de papa china nativo y acetilado

*Poder de hinchamiento, índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua*

Se evidenció por medio de la ilustración 7 que los almidones que fueron acetilados a distintas relaciones estequiométricas g de NaOH/g de almidón (0,8;0,7;0,3) de NaOH al 3%, una disminución en el poder de hinchamiento, índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua que se muestra en la ilustración 7, el almidón que expresó un mayor incremento en sus propiedades funcionales fue la curva del almidón acetilado de la relación estequiométrica 0,8 que obtuvo una mayor porcentaje de acetilo y grados de sustitución, mientras que el más bajo fue la curva del almidón de la relación estequiométrica 0,3 siendo este último el más cercano a la curva del almidón nativo de papa china, este comportamiento se repite en cada una de la propiedades funcionales. Rincón et al., (2018) reporta que la acetilación del almidón mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas y funcionales, incluso con un bajo grado de sustitución.

*Ilustración 7. Influencia de la temperatura sobre el poder de hinchamiento (PHi), índice de solubilidad (ISA) y índice absorción de agua (IAA).*





De acuerdo a los resultados obtenidos en la ilustración 7, se visualiza que el poder de hinchamiento (PHi), índice de absorción de agua (IAA) y índice de solubilidad en agua (ISA) de los almidones de papa china variedad *Colocasia esculenta* acetilados respecto al almidón nativo presentan su máximo potencial en la temperatura de 90 °C, siendo el almidón acetilado de la relación estequiométrica 0,8 g de NaOH/g de almidón el que mayor valor presentó en todas las propiedades funcionales, por ser el almidón con mayor porcentaje de acetilo y grado de sustitución. Lo que coincide con Ibikunle et al., (2022) en su estudio comparativo de almidones acetilado y carboximetilados de ñame rojo y blanco, observando el comportamiento de las propiedades funcionales en sus almidones acetilados a diferentes temperaturas, su valor se incrementa a medida que aumenta la temperatura en todos los casos de almidones acetilados.

Subroto et al., (2023) nos explica que el aumento del poder de hinchamiento e ISA a medida que aumenta el GS en los almidones acetilados, se debe a la sustitución del grupo hidrófilo (acetilo), que facilita la penetración del agua en los gránulos de almidón.

En los patrones del poder de hinchamiento (PHi) e índice de absorción de agua (IAA), se puede apreciar que solamente los gránulos del almidón nativo de papa china se resisten al hinchamiento a temperaturas menores de 60 °C, esto es debido a su alta temperatura de gelatinización 75 °C.

En el caso de los almidones acetilados a diferentes relaciones estequiométricas, el almidón acetilado de la relación 0.8 a partir de los 60 °C tiene un mayor poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y índice de solubilidad en agua que el resto de almidones acetilados, caso contrario fue el almidón de la relación 0,3 que presentó el menor poder de hinchamiento índice de absorción de agua y índice de solubilidad de los almidones acetilados, siendo estos dos el de mayor y menor porcentaje de acetilo y grados de sustitución, respectivamente. Un comportamiento similar es descrito por Trela et al., (2020) y Ibikunle et al., (2022) en el poder de hinchamiento e índice de solubilidad en agua a distintas temperaturas.

Esto según Subroto et al., (2023) el aumento de la solubilidad por la sustitución de grupos acetilo debilita los enlaces de hidrógeno que conectan al almidón a nivel intermolecular e inhibirá las asociaciones intermoleculares de modo que las moléculas de almidón se unirán con el agua y se disolverán junto con el agua que sale de los gránulos de almidón.

### 3.5 Capacidad de absorción de aceite, temperatura de gelatinización y densidad aparente del almidón nativo y modificado

Para verificar el efecto del catalizador NaOH 3% a distintas relaciones (g de NaOH/ g de almidón), en los almidones acetilados de papa china variedad *Colocasia esculenta* en la capacidad de absorción de aceite, temperatura de gelatinización y densidad aparente del almidón se aplicó un test de normalidad donde el estadístico W de Shapiro-Wilk es ( $p > 0,05$ ) dando cumplimiento con los requisitos para aplicar un ANOVA simple.

**Tabla 7.** Propiedades funcionales del almidón de papa china *Colocasia esculenta*

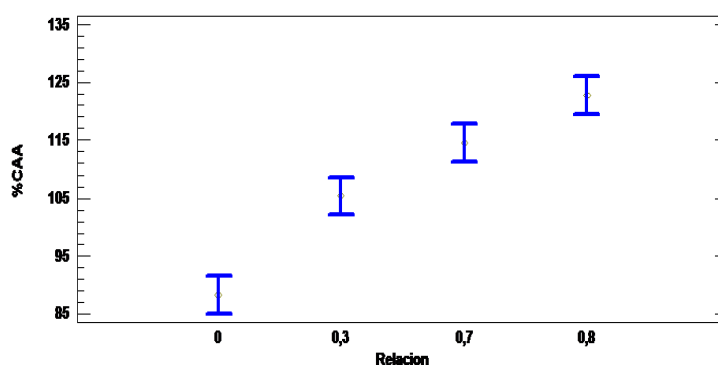
Relación estequiométrica	%CAA	Temperatura de gelatinización (°C)	Densidad aparente
0	88,32±2,85 <sup>a</sup>	75±1 <sup>a</sup>	0,7637±0,00037 <sup>a</sup>
0,8	122,74±5,71 <sup>b</sup>	66±1 <sup>b</sup>	0,6780±0,00421 <sup>b</sup>
0,7	114,60±1,83 <sup>c</sup>	69.33±0,57 <sup>c</sup>	0,7162±0,00730 <sup>c</sup>
0,3	105,42±1,84 <sup>d</sup>	71.33±0,57 <sup>d</sup>	0,7435±0,00086 <sup>d</sup>

Fuente: Los autores

*Promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas debido a la reacción de acetilación*

En la tabla 7 se reportan los requisitos estadísticos como prueba de normalidad de datos y verificación de varianza W de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ); basándose en las diferentes relaciones estequiométricas de catalizador g de NaOH/ g de almidón según el porcentaje de capacidad de absorción de aceite, % de gelatinización y temperatura de gelatinización.

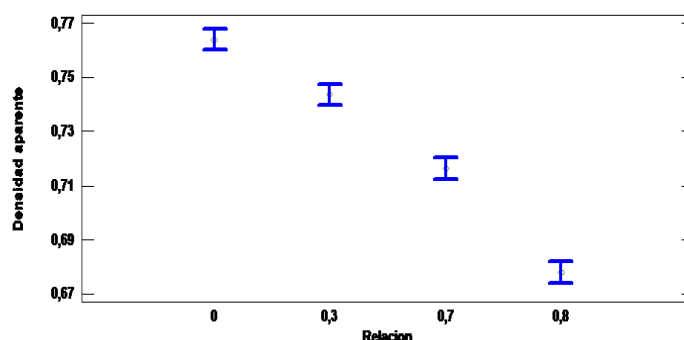
**Ilustración 8.** Capacidad de absorción de aceite %CAA



Los resultados obtenidos sobre la capacidad de absorción de aceite presentaron una tendencia decreciente según se observa en la ilustración 8, reportando una disminución en la capacidad de absorción de aceite de los almidones acetilados. Por lo que se evidencia que al disminuir las diferentes relaciones estequiométricas g de NaOH/g de almidón en los almidones acetilados disminuye los grupos acetilo y grupos de sustitución junto con su capacidad de absorción de aceite. Lo que concuerda con lo dicho por Chi et al., (2023) los grupos de acetilo mejoran la capacidad de absorción de aceite.

Sin embargo, en el caso del almidón nativo de papa china Yussuf et al., (2023) reportó una capacidad de absorción de aceite de 143% y 164% en el almidón nativo de *Cocoyam rojo* y *Cocoyam blanca*, respectivamente. Lo que supera la capacidad de absorción de aceite de nuestro almidón nativo.

*Ilustración 9. Densidad aparente*

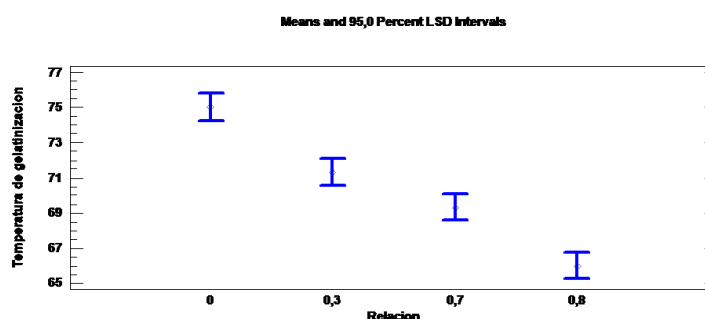


Se observa en la ilustración 9, un comportamiento creciente en los valores de la densidad aparente a medida que disminuye las relaciones estequiométricas del catalizador g de NaOH/g de almidón. Mostrando un comportamiento creciente desde el almidón acetilado de la relación estequiométrica 0,8 hasta el almidón nativo de papa china. La densidad aparente de 0,6780 (g/mL) en el almidón nativo es mayor a la reportada por Boahemaa et al., (2024), en el estudio de dos variedades de *Colocasia esculenta*, con valores que oscilan entre 0,55 g/mL y 0,57 g/mL, esta baja densidad aparente del almidón de papa china significa que una gran cantidad de almidón puede caber en un paquete.

En cuanto al comportamiento creciente de la densidad aparente de los almidones acetilados de papa china evidenciado en el ilustración 9, Getachew et al., (2020) reportó una disminución en la densidad aparente de los almidones acetilados de taro bolso una variedad de la *Colocasia esculenta* a medida que aumenta el GS, esto podría deberse a la introducción del grupo acetilo que reduce la fuerza de unión entre moléculas de almidón

debido al impedimento estérico, conduciendo a una reorganización estructural que causa la apertura de la estructura del almidón.

*Ilustración 10. Temperatura de gelatinización*



En la ilustración 10, presenta la influencia de la acetilación a distintas relaciones estequiométricas g de catalizador/g de almidón en la temperatura de gelatinización de almidón nativo de papa china variedad *Colocasia esculenta*, en el caso del almidón nativo tiene un valor máximo de  $75 \pm 1$  °C. Lo que concuerda con los valores reportados en la investigación de Rentería et al., (2021), la temperatura de gelatinización de almidón nativo de papa china varía en un rango de 57,5 °C hasta mayores de 70 °C lo cual depende de la variedad del tubérculo, así como lo demuestra Trujillo et al., (2024) en su estudio de almidón de *Colocasia esculenta* (L.) Schott en variedades de *esculenta morada* y *blanca*.

En cuanto a los almidones acetilado de la ilustración 10, se evidencia que a medida que va disminuyendo la relación estequiométrica de g de catalizador/g de almidón la temperatura de gelatinización aumenta, En relación a esto Luo & Shi, (2018) reporta un descenso de la temperatura de gelatinización en los almidones de maíz céreos acetilados al aumentar la concentración de catalizador desde NaOH 3% hasta NaOH 30%, con temperatura de gelatinización de 64,2 °C a 63,9 °C, respectivamente. Además, Chakraborty et al., (2022) menciona que con el aumento del grado de acetilación hay una tendencia al descenso de la temperatura máxima de gelatinización, por la introducción de grupos acetilo hidrófilos en el dominio amorfo de los gránulos de almidón lo que produce su disminución. Lo que concuerda con la relación estequiométrica 0,8 al presentar un mayor porcentaje de acetilación y la menor temperatura de gelatinización.

### 3.6 Propiedades físicas y mecánicas en films de almidón acetilado, celulosa microcristalina y AE Orégano

Las propiedades físicas y mecánicas en films de almidón acetilado, celulosa microcristalina y AE orégano (*Origanum vulgare*), se evaluaron en base a un diseño experimental 3<sup>2</sup>, los resultados obtenidos se presentan en la (Tabla 8).

**Tabla 8.** Tratamientos para la elaboración de film

Tratamiento	AE (Orégano) (%p/v)	Celulosa (%p/v)	Humedad %	Solubilidad %	Fuerza mecánica N
1	1	0,15	7,68	51,86	15,68
2	1,5	0,1	3,24	45,55	8,37
3	1,25	0,2	5,653	49,2	12,37
4	1	0,2	7,98	53,66	17,72
5	1,25	0,1	4,5	47,5	10,3
6	1,5	0,2	3,54	46,7	9,5
7	1,25	0,15	5,15	48,1	11,66
8	1	0,1	7,44	50,8	13,64
9	1,5	0,15	3,233	46,32	8,54

Fuente: Elaboración propia

*Promedio de tres determinaciones ± desviación estándar.*

*Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas debido a la reacción de acetilación ( $p < 0.05$ ).*

En la tabla 8 se reporta que los factores porcentaje de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) (A) y celulosa microcristalina (B) y su correspondiente interacción (AB) inciden sobre la humedad en los films ( $p < 0,005$ ), siendo la más incidente el porcentaje de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*).

**3.7 Contenido de humedad.** Aplicando un análisis de ANOVA para un diseño factorial multinivel se determinó el porcentaje de humedad en los films de almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta*, como se muestra en la tabla 8.

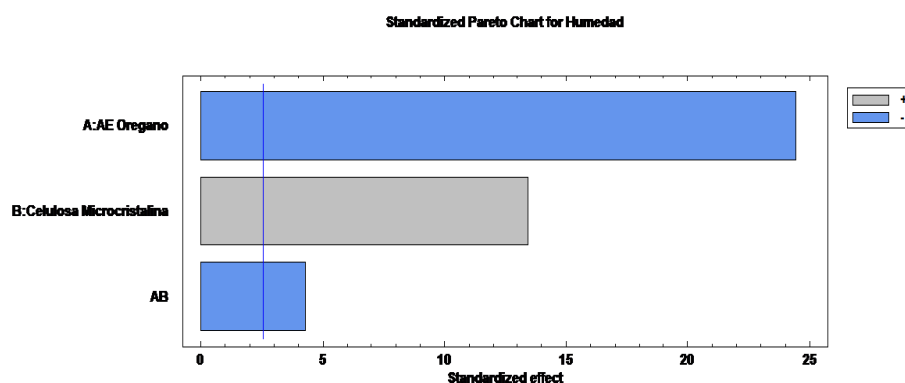
**Tabla 9.** Análisis de varianza para el contenido de Humedad

Source	Suma de cuadrados	de GI	Cuadrado medio	Razon-F	Valor -P
A:AE	7,37042	1	7,37042	598,60	0,0000
B: Celulosa Microcristalina	2,22042	1	2,22042	180,33	0,0000
AB	0,225625	1	0,225625	18,32	0,0079
Total, error	0,0615639	5	0,0123128		
Total (corr)	9,87802	8			

Fuente: Statgraphics - 19x64

De acuerdo al análisis, los factores A (%AE Orégano) y B (%Celulosa Microcristalina) influyen en el porcentaje de humedad en los films ( $p < 0,05$ ), siendo A el factor más significativo (Tabla 9), eso quiere decir que cuando hay más contenido de A (%AE Orégano) en la formulación, existe una diferencia en el contenido de humedad en comparación al contenido de B (Celulosa Microcristalina) que provoca una elevación de la humedad.

*Ilustración 11. Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de Humedad*



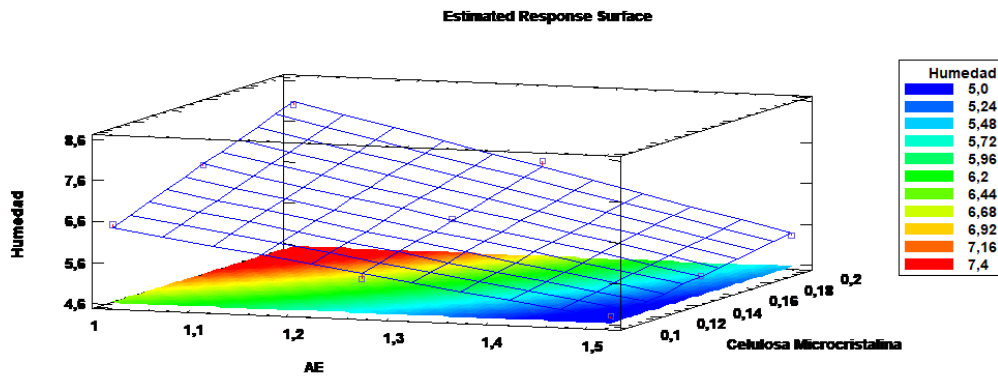
En la ilustración 11 diagrama de Pareto se evidencia que la interacción entre (AB) contribuye a la disminución del porcentaje de humedad en las películas, casos semejantes se encontraron Vazquez & Guerrero, (2017) y Cedeño et al., (2023), en tanto que, al adicionar aceites esenciales de limón y mandarina el porcentaje de humedad disminuye significativamente ( $p \leq 0,05$ ), debido a su carácter hidrófobo el aceite esencial podría hacer que las moléculas de agua sean repelidas y por lo tanto liberadas de la película. Además, Désiré et al., (2021) reportó que el aumento de los niveles de celulosa microcristalina (CMC) en películas a base de almidón resultó en una disminución significativa en el contenido de humedad en las películas, lo que indicaría una interacción intermolecular entre el almidón y el CMC, esta interacción conduce a la reducción en el contenido de agua.

**Tabla 10.** Modelo ajustado para contenido de humedad

Porcentaje de Humedad	$\% \text{Humedad} = 6,31972 - 1,58333 * \% \text{AE (orégano)} + 35,9167 * \% \text{Celulosa Microcristalina} - 19,0 * \% \text{AE (orégano)} * \% \text{Celulosa Microcristalina}$	
	R-cuadrada	R-cuadrada (ajustado por g.f.)
	99,3768 %	99,0028%
Fuente: Elaboración propia.		

En la tabla 9 se evidencia el modelo de regresión en donde existe un R-cuadrado de 99,3768% y una R-cuadrado (ajustado por g.f.) de 99,0028%

*Ilustración 12. Diagrama de superficie de respuesta para contenido de humedad*



En el diagrama de superficie de respuesta (ilustración 12), muestra la interacción que hay entre celulosa microcristalina y AE (aceite esencial), determinado así que el incremento del %AE orégano en los films disminuye la humedad, y en menor proporción se incrementa la temperatura conforme se agrega más % celulosa microcristalina; se registra el modelo matemático que nos permite leer datos de valores óptimos de AE (orégano) 1,5 %(p/v) y 0,1 %(p/v) de Celulosa Microcristalina disminuyendo el contenido de humedad (Tabla 10).

**Tabla 11.** Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de humedad

Minimizar la humedad			
Valor óptimo = 4,68194			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
AE (orégano)	1,0	1,5	1,5
Celulosa Microcristalina	0,1	0,2	0,1



**Solubilidad.** El ANOVA del diseño experimental se evidencia en la tabla 12

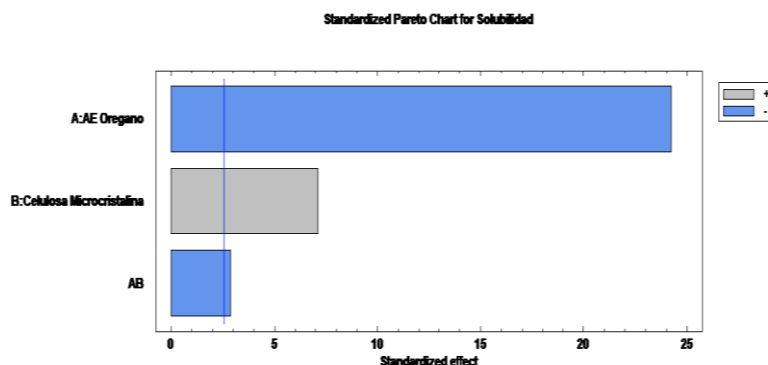
**Tabla 12.** Análisis de varianza para el porcentaje de solubilidad

Source	Suma de cuadrados	de GI	Cuadrado medio	Razon-F	Valor -P
A:AE Orégano	52,5104	1	52,5104	1056,17	0,0000
B: Celulosa Microcristalina	5,43402	1	5,43402	109,30	0,0008
AB	0,731025	1	0,731025	14,70	0,0355
Total, error	0,149153	3	0,0497176		
Total (corr)	60,4194	8			

Fuente: Statgraphics - 19x64

Los resultados que se presentan en la tabla 12, el cual evidencia que los factores A:%AE Orégano y B:%Celulosa Microcristalina, los que presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el contenido de solubilidad en los films de almidón acetilado; así mismo se observó que hay una mayor interacción del %AE disminuyendo la solubilidad significativamente, mientras que el contenido de celulosa microcristalina incrementa la solubilidad pero en menor medida, por otro lado la interacción entre AB existe una disminución en la solubilidad en la película, esto es comparable con el estudio realizado por Makhmudun & Mohammad, (2024) que al adicional celulosa microcristalina y AE hay una mejora en la resistencia termina, tracción y se reduce la solubilidad en agua, caso similar ocurrió con la autora Alzate, (2017) en la cual se observó una tendencia a disminuir la solubilidad del almidón acetilado cuando se le adiciono AE de orégano, los autores mencionan a que esto se debe al carácter hidrofóbico que tienen las películas al interactuar con AE.

*Ilustración 13. Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de solubilidad*



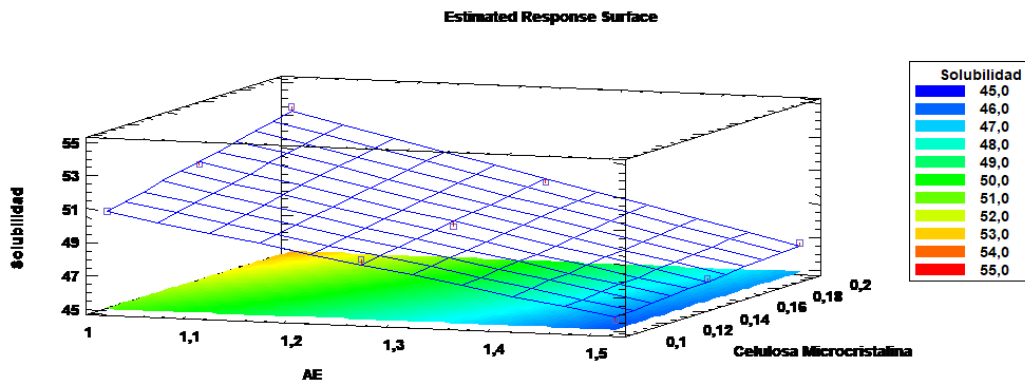
El modelo de regresión del experimento que sea desarrollado (tabla 13), existe una R-cuadrada de 99,2317% y una R-cuadrada (ajustada por g.f.) de 98,7708%.

**Tabla 13.** Modelo ajustado para porcentaje de solubilidad

Porcentaje de solubilidad	$\% \text{Solubilidad} = 54,8758 - 6,70333\% \text{AE (orégano)} + 60,15\% \text{Celulosa Microcristalina} - 34,2\% \text{AE (orégano)} * \% \text{Celulosa Microcristalina}$	
	R-cuadrada	R-cuadrada (ajustada por g.f.)
	99,2317 %	98,7708 %
Fuente: Elaboración propia.		

En el diagrama superficie respuesta (Ilustración 14), se muestra la interacción entre el porcentaje de celulosa microcristalina y AE, evidenciando la afectación sobre el porcentaje de solubilidad, de modo que, los porcentajes óptimos de celulosa microcristalina (0,1 % p/v) y AE (1,5% p/v) disminuyen el porcentaje de solubilidad en la película (tabla 14).

*Ilustración 14. Diagrama de superficie de respuesta para porcentaje de solubilidad*



**Tabla 14.** Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de solubilidad

Minimizar la solubilidad			
Valor óptimo = 45,7058			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
AE (orégano)	1,0	1,5	1,5
Celulosa Microcristalina	0,1	0,2	0,1

### 3.8 Fuerza Mecánica.

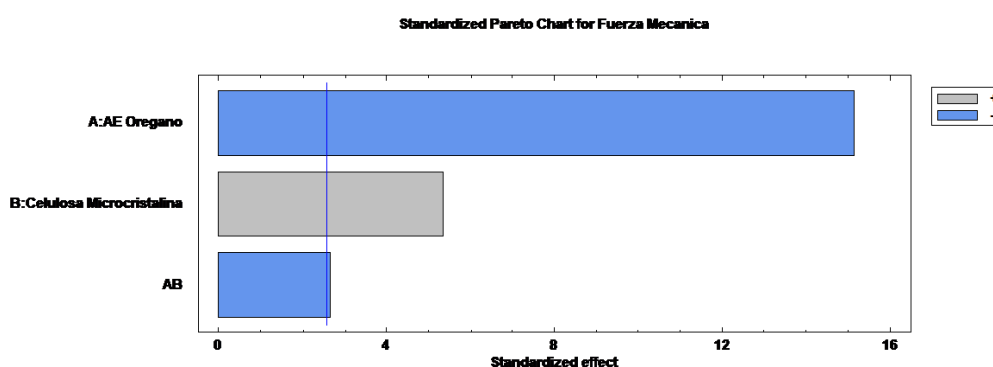
**Tabla 15.** Fuerza mecánica de las películas de almidón

Source	Suma de cuadrados	de GI	Cuadrado medio	Razon-F	Valor -P
A:AE Orégano	52,5104	1	52,5104	1056,17	0,0000
B: Celulosa Microcristalina	5,43402	1	5,43402	109,30	0,0031
AB	0,731025	1	0,731025	14,70	0,0452
Total, error	0,149153	3	0,0497176		
Total (corr)	60,4194	8			

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la tabla 15, se presentan también mediante un diagrama de Pareto (Grafica 12), donde se muestran los factores A: %AE Orégano y B: %Celulosa Microcristalina, los que presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la fuerza mecánica que se requiere para que haya alguna deformación en el film de almidón acetilado. Se observó que cuando hay más %AE Orégano se utiliza menos fuerza de tensión, caso contrario con respecto a B (celulosa microcristalina) que existe un aumento en la fuerza mecánica y en la interacción entre AB hay una disminución en la fuerza mecánica.

*Ilustración 15. Diagrama de Pareto estandarizado para fuerza mecánica*



En una investigación se mostraron tendencias similares en películas de almidón de maíz donde la resistencia a la tensión es mínima (2,21 MPa) con 1% AEO (Benavides et al., 2012). Los resultados que tengan las películas con respecto al AE van a depender del tipo de aceite y de las concentraciones que se utilicen y cómo estas interactúan entre moléculas y cadenas poliméricas, el método de homogeneización es el que establece el área efectiva de la interacción entre polímero/aceite, las fases dispersas de la biopelícula se deben a las discontinuidades en la estructura lo que hacen que haya una mayor fragilidad con agregar en exceso aceite esencial, plastificante

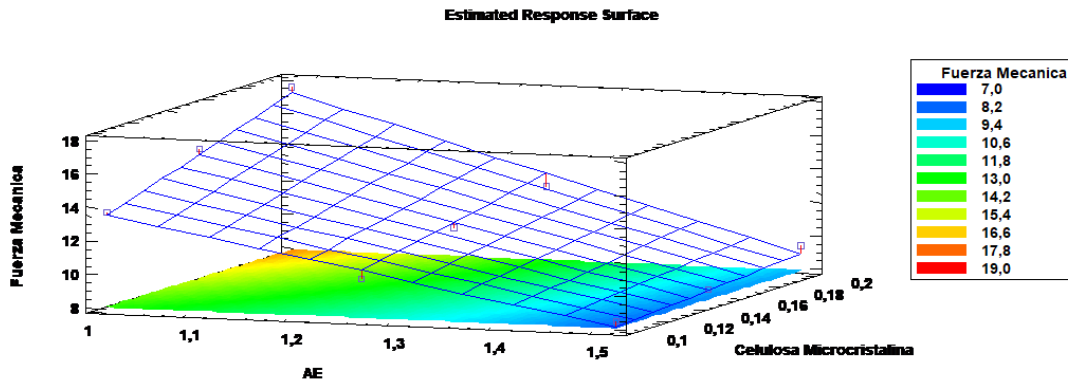
**Tabla 16.** Modelo ajustado para porcentaje de Fuerza Mecánica

Fuerza Mecánica	Fuerza Mecánica (N) = 14,4647 - 4,90333*%AE (orégano) + 98,0167*%Celulosa Microcristalina - 59,0*%AE (orégano)*%Celulosa Microcristalina	
	R-cuadrada	R-cuadrada (ajustada por g.f.)
	98,15 %	97,04 %
Fuente: Elaboración propia.		

En la tabla 16 se muestra el modelo matemático utilizado para la fuerza mecánica, además se muestra los valores de R-cuadrada (98,15 %) y R-cuadrada (ajustada por g.f.) (97,04 %), mencionando también el diagrama de superficie de respuesta con los porcentajes

óptimos de para la fuerza mecánica en las películas, pues al tener una concentración de AE Orégano de 1,5% y un 0,1% Celulosa microcristalina se utiliza menos fuerza mecánica.

**Ilustración 16.** Diagrama de superficie de respuesta para la fuerza mecánica en la película



**Tabla 17.** Modelo de optimización para minimizar la fuerza máxima

Maximizar la Fuerza Mecánica			
Valor óptimo = 45,7058			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
AE (orégano)	1,0	1,5	1,0
Celulosa Microcristalina	0,1	0,2	0,2

En esta tabla (Tabla 17), nos indica los valores óptimos para la formulación de una película de almidón de papa china *Colocasia esculenta*. Evidenciando que cuando el factor AE Orégano de 1,0% y 0,2% de Celulosa Microcristalina tendrán películas con características físicas más resistentes y menos propensas a la ruptura, eligiendo así el tratamiento 4, en el cual se ejerció una fuerza mecánica de 17,72 N

## CONCLUSIONES

- El rendimiento obtenido del almidón de papa china variedad *Colocasia esculenta* fue de  $19,52 \pm 0,66$  %, con un coeficiente de variación de 0,0342.
- Se evidencio que, al disminuir la relaciones estequiométricas g de NaOH/g de almidón en la reacción de acetilación del almidón de la papa china variedad *Colocasia esculenta* ocasiona cambios significativos en el grado de modificación obtenido, demostrando una disminución en los porcentajes de acetilo y grupos de sustitución ( $p \leq 0,05$ ). Variando las relaciones estequiométricas manifestó un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en la composición proximal.
- Las relaciones estequiométricas tuvieron un efecto en las propiedades funcionales ( $p < 0,05$ ), a medida que disminuye las relaciones estequiométricas g de NaOH/g de almidón también disminuye las curvas del poder de hinchamiento, índice a absorción de agua, índice de solubilidad en agua y la capacidad de absorción de aceite caso contrario a la temperatura de gelatinización y la densidad aparente por su comportamiento creciente.
- Los porcentaje de aceite esencial de orégano y celulosa microcristalina en las formulaciones de las películas influyen significativamente ( $p \leq 0,05$ ) evidenciando que el aceite esencial de orégano disminuye la humedad, solubilidad y la fuerza mecánica de las películas mientras que la celulosa microcristalina las aumenta, obteniendo las siguientes ecuaciones de regresión Humedad =  $6,31972 - 1,58333 * \%AE(\text{orégano}) + 35,9167 * \%Celulosa \text{ Microcristalina} - 19,0 * \%AE(\text{orégano}) * \%Celulosa \text{ Microcristalina}$ , Solubilidad =  $54,8758 - 6,70333 * \%AE(\text{orégano}) + 60,15 * \%Celulosa \text{ Microcristalina} - 34,2 * \%AE(\text{orégano}) * \%Celulosa \text{ Microcristalina}$ , Fuerza Mecánica =  $14,4647 - 4,90333 * \%AE(\text{orégano}) + 98,0167 * \%Celulosa \text{ Microcristalina} - 59,0 * \%AE(\text{orégano}) * \%Celulosa \text{ Microcristalina}$ , y sus modelos de optimización para minimizar humedad y solubilidad con 1,5 % AE (orégano) y 0,1 % Celulosa Microcristalina y maximizar la fuerza mecánica con 1,0 % AE (orégano) y 0.2 % Celulosa Microcristalina

## RECOMENDACIONES

- En estudios posteriores evaluar las películas de almidón acetilado de papa china variedad *Colocasia esculenta* con celulosa microcristalina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) en diferentes alimentos como derivados lácteos, cárnicos o panadería.



## BIBLIOGRAFIAS

- Abdan, K. B., Yong, S. C., Chiang, E. C. W., Talib, R. A., Hui, T. C., & Hao, L. C. (2020). Barrier properties, antimicrobial and antifungal activities of chitin and chitosan-based IPNs, gels, blends, composites, and nanocomposites. *Handbook of Chitin and Chitosan: Volume 2: Composites and Nanocomposites from Chitin and Chitosan, Manufacturing and Characterisations*, 175–227. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817968-0.00006-8>
- Abedi-Firoozjah, R., Chabook, N., Rostami, O., Heydari, M., Kolahdouz-Nasiri, A., Javanmardi, F., Abdolmaleki, K., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). PVA/starch films: An updated review of their preparation, characterization, and diverse applications in the food industry. *Polymer Testing*, 118, 107903. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2022.107903>
- Abera, G., Woldeyes, B., Demash, H. D., & Miyake, G. (2020). The effect of plasticizers on thermoplastic starch films developed from the indigenous Ethiopian tuber crop Anchote (*Coccinia abyssinica*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 581–587. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.03.218>
- Aguila, Y., Jiménez, M., & Rodríguez, Y. (2019, Junio 1). Mejoramiento, conservación y diversidad genética de la malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.) en Cuba. *SciELO*, Vol.40(no.2). Apdo 6, Santo Domingo, CP 53000, Villa Clara, Cuba
- Ajay Singh, D. S., Bala Dhull, S., Kumar, P., & Malik, T. (2020, Nov 15). Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. *ELSEVIER*, Vol.163, pages 1283-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>

- Ajay Singh, D. S., Pankaj Kumar, T. M., & Pradyuman Kumar, S. B. D. (2020, NOVEMBER 15). Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. *ELSIVIER*, 163, 1283-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>
- Alzate, P. C. (2017). *Caracterización fisicoquímica de películas comestibles elaboradas con almidón de mandioca nativo o modificado e hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) y actividad antimicrobiana de agentes preservadores retenidos en ellas*. Biblioteca Digital. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n6429\\_AlzateCalderon.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6429_AlzateCalderon.pdf)
- Arana Montenegro, J. A. (2023). Comportamiento agronómico de cultivares de papa china (*Colocasia esculenta*) en el Ecuador. *Universidad Técnica de Babahoyo*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14800>
- Araneda, M. (2023, Septiembre 1). *HIDRATOS DE CARBONO (CARBOHIDRATOS)*. EDUalimentaria. Retrieved 2025, from <https://edualimentaria.com/acerca-de?view=article&id=17&catid=2>
- Atar, S. K., Kamble, P. R., Gurav, S. S., Dhanawade, P. P., Parekar, P. B., & Shivpuje, S. S. (2022, December). Phytochemical Screening, Physicochemical Analysis of Starch from *Colocasia Esculenta*. *NeuroQuantology*, 20(20), 903-915. [https://www.researchgate.net/profile/Shivpuje-Shivpuje/publication/366701524\\_Phytochemical\\_Screening\\_Physicochemical\\_Analysis\\_of\\_Starch\\_from\\_Colocasia\\_Esculenta/links/63af216c03aad5368e511052/Phytochemical-Screening-Physicochemical-Analysis-of-Starch-from-](https://www.researchgate.net/profile/Shivpuje-Shivpuje/publication/366701524_Phytochemical_Screening_Physicochemical_Analysis_of_Starch_from_Colocasia_Esculenta/links/63af216c03aad5368e511052/Phytochemical-Screening-Physicochemical-Analysis-of-Starch-from-)

- Ballesteros-Mártinez, L., Pérez-Cervera, C., & Andrade-Pizarro, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte de Coyuntura del Sector Agroalimentario*. Banco del Ecuador.
- Bangar, S. P., Purewal, S. S., Trif, M., Maqsood, S., Kumar, M., Manjunatha, V., & Rusu, A. V. (2021). Functionality and Applicability of Starch-Based Films: An Eco-Friendly Approach. *Foods*, 10(9), 2181. <https://doi.org/10.3390/foods10092181>
- Bashir, K., & Aggarwal, M. (2019, January 1). Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *J Food Sci Technol*, 56, 513–523. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2>
- Benavides, S., Villalobos, R., & Reyes, J. E. (2012). Propiedades físicas, mecánicas y antibacterianas de la película de alginato: Efecto del grado de reticulación y la concentración de aceite esencial de orégano. *Revista de ingeniería alimentaria*, 110(2), Páginas 232-239. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.023>
- Blacio, C. Y., & Santana, S. (2023, Sep 29). *Propiedades físicas y de barrera de películas a base de Almidón de Maíz acetilado, Gelatina y Aceite Esencial de Orégano*. Repositorio Digital de la UTMACH. Retrieved 1 20, 2024, from [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22298/1/Trabajo\\_Titulacion\\_2750.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22298/1/Trabajo_Titulacion_2750.pdf)
- Boahemaa, L. V., Dzandu, B., Amissah, J. G. N., Akonor, P. T., & Saalia, F. K. (2024). Physico-chemical and functional characterization of flour and starch of taro (*Colocasia esculenta*) for food applications. *Food and Humanity*, 2, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100245>

Caicedo, W. O. (2018, June). *Tubérculos de papa china (colocasia esculenta (l.) schott) como una fuente energética tropical para alimentar cerdos. una reseña corta sobre las características de la composición química y de los factores antinutricionales*. ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/publication/325995741\\_TUBERCULOS\\_DE\\_PAPA\\_CHINA\\_Colocasia\\_esculenta\\_L\\_Schott\\_COMO\\_UNA\\_FUENTE\\_ENERGETICA\\_TROPICAL\\_PARA\\_ALIMENTAR\\_CERDOS\\_UNA\\_RESENA\\_CORTA SOBRE\\_LAS\\_CARACTERISTICAS\\_DE\\_LA\\_COMPOSICION\\_QUIMICA\\_Y\\_DE\\_LOS\\_FACTORES\\_A](https://www.researchgate.net/publication/325995741_TUBERCULOS_DE_PAPA_CHINA_Colocasia_esculenta_L_Schott_COMO_UNA_FUENTE_ENERGETICA_TROPICAL_PARA_ALIMENTAR_CERDOS_UNA_RESENA_CORTA SOBRE_LAS_CARACTERISTICAS_DE_LA_COMPOSICION_QUIMICA_Y_DE_LOS_FACTORES_A)

Calva, A., & Zhingri, K. (2023, Marzo 05). *Elaboración de recubrimiento a base de almidón modificado de Papa China y Celulosa Microcristalina para conservación de Arándanos*. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SA.

Castro Hinojosa, G. A. (2022). “*CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE PAPA CHINA (Colocasia esculenta) PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PANIFICACIÓN*”. FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS CARRERA INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS. Retrieved Nov 30, 2024, from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17480/1/27T00544.pdf>

Cardona, L. F. V., & Díaz, J. C. Q. (2022). Extracción y caracterización de aceite esencial de orégano, especie *Plectranthus amboinicus*, a partir de cultivos orgánicos del Magdalena Medio en Colombia / Extração e caracterização do óleo essencial de orégano, espécie *Plectranthus amboinicus*, de cultiv. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 550–563. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-043>

Cedeño, L., Romero, M., Nuñez, T., Montalvan, N., & Rogel, M. (2023, Mayo-Agosto). Efecto de gelatina y aceite esencial de mandarina en películas de almidón de maíz. *Revista*

*Ciencia UNEMI*, 16(42), pp. 35 - 44. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss42.2023pp35-44p>

Cedeño Sares, L. A., Arias, D., Pereir, F. A., & León, W. P. (2023, Octubre-Diciembre). Efecto de la acetilación en el almidón de maíz. *Revista De Investigación E Innovación*, vol.8(n.6), 109–121. <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i4.2965>

Cedeño Sares, L. A., Casariego Año, A., García Pérez, M. A., Jumbo Peña, N. D., & Machuca Román, J. V. (2024). Coating of oxidized banana starch and olive oil for the preservation of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* cv. Cerasiforme). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(3), 10853-10864. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.109200>

Chacha, C., & Cordova, S. (2020). *ENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C EN ALMIDÓN MODIFICADO DE MALANGA (XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM (L) SCHOTT) COMO AGENTE ENCAPSULANTE MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD.* [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16329/1/T-3905\\_CHACHA%20GALLEGOS%20CINDY%20KATHERINE.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16329/1/T-3905_CHACHA%20GALLEGOS%20CINDY%20KATHERINE.pdf)

Chagman, G. P., & Zapata, J. (2010, Diciembre). Partial substitution of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) by amaranth flour (*Amaranthus caudatus* L. ), by using the direct and sponge and dough method in bread making. *SciELO Perú*, V.76(N.4). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2010000400008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000400008)

Chakraborty, I., Pallen, S., Shetty, Y., Roy, N., & Mazumder, N. (2020, January 16). Advanced microscopy techniques for revealing molecular structure of starch granules. *Biophysical Reviews*, Vol.12, pages 105–122. <https://doi.org/10.1007/s12551-020-00614-7>

- Chakraborty, I., Pooja N, Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, M. H., & Mazumder, N. (2022). An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>
- Chakraborty, I., Sankar Mal, H., Uttam C., P., Rahman, D. H., & Mazumder, N. (n.d.). Una perspectiva de las propiedades de gelatinización que influyen en los almidones modificados utilizados en la industria alimentaria. *Food Bioprocess Techno*, 15, 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>
- Chamorro, F. A. P., Quilumbaquin, B. A. L., & Lucas, M. Á. A. (2022). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de papa superchola y su utilización en la formulación de salchicha tipo frankfurt. *SATHIRI*, 17(2), 160-176. <https://doi.org/10.32645/13906925.1137>
- Chaparro Sánchez, S. S., Romero López, W. E., & Rodríguez Rojas, M. P. (2020). Caracterización del almidón de sagú (*Canna indica*) fermentado para la implementación de procesos agroindustriales. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 11(2), 23-51. <https://doi.org/10.22579/22484817.469>
- Cheng, H., Chen, L., McClements, D. J., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., Miao, M., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>
- Cheng, J., Wang, H., Xiao, F., & Li Xia. (2021, Sep 1). Eficacia funcional de los aceites esenciales dobles @ almidón de ñame / celulosa microcristalina como envase antibacteriano activo. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, Vol.186, 873-885. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.094>

- Chi, C., Lian, S., Zou, Y., Chen, B., He, Y., Zheng, M., Zhao, Y., & Wang, H. (2023). Preparation, multi-scale structures, and functionalities of acetylated starch: An updated review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 126142. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126142>
- Chuiza Rojas, M., Haro Velasteguí, C., & Brito Moína, H. (2021). Identificación de las variables de proceso óptimas para la producción del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*). *REVISTA CIENTIFICA*, Vol 7(núm. 1), pp. 837-848. : <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1680>
- CREDINFORM. (2023, April 14). *¿Cuánto tiempo tarda en descomponerse el plástico que usamos a diario?* - Blog Credinform. Credinform. Retrieved January 8, 2025, from <https://www.credinformsa.com/blog/cuanto-tiempo-tarda-en-descomponerse-el-plastico-que-usamos-a-diario/>
- Criollo-Feijoo, J., Salas-Gomez, V., Cornejo, F., Auras, R., & Salazar, R. (2024). Cassava bagasse starch and oregano essential oil as a potential active food packaging material: A physicochemical, thermal, mechanical, antioxidant, and antimicrobial study. *Heliyon*, 10(16), e36150. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36150>
- Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2021). Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 854-869. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.024>
- Daza-Orsini, S. M., Medina-Jaramillo, C., Caicedo-Chacon, W. D., Ayala-Valencia, G., & López-Córdoba, A. (2024). Isolation of taro peel cellulose nanofibers and its application in improving functional properties of taro starch nanocomposites films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273, 132951. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132951>

- Delgado, D. (2024). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DEL ALMIDÓN NATIVO DE VITUCA (Colocasia esculenta)*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS. Retrieved Enero 29, 2024, from <http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/7452/TESIS%20DORIS%20YAN%20ETH%20DELGADO%20RAFAEL%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Désiré, A. Y., Charlemagne, N., Claver, K. D., Achille, T. F., & Marianne, S. (2021). Starch-based edible films of improved cassava varieties Yavo and TMS reinforced with microcrystalline cellulose. *Heliyon*, 7(4), e06804. 10.1016/j.heliyon.2021.e06804
- Diaz, E. (2023). *Manejo agronómico del cultivo de la papa china (Colocasia esculenta L) en el Ecuador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Babahoyo*. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y VETERINARIA. Retrieved Febrero 03, 2025, from <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14800/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diaz, E., Cabrera, C., Diaz, Y., Chumacero, J., & Gamboa, P. (2023, Ene-Jun). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis*L.). *Revista Agrotecnologica Amazonica*, e-ISSN: 2710-0510. <https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/raa/article/view/429/849>
- DICYT. (2012). *Aceite esencial de orégano, un poderoso antioxidante natural*. AGENCIA IBEROAMERICANA PARA LA DIFUSION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA. Retrieved 2012, from <https://www.dicyt.com/noticias/aceite-esencial-de-oregano-un-poderoso-antioxidante-natural>



- Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., & Lomovsky, O. (2020, March 12). Changes in the Crystallinity Degree of Starch Having Different Types of Crystal Structure after Mechanical Pretreatment. *Polymers*, 12(3), 641. <https://doi.org/10.3390/polym12030641>
- do Val Siqueira, L., Arias, C. I. L. F. I. L. F., Maniglia, B. C., & Tadini, C. C. (2021). Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 38, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.020>
- El Halal, S. L. M., Colussi, R., Pinto, V. Z., Bartz, J., Radunz, M., Carreño, N. L. V., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2015). Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.046>
- Escobar, J. A., Gonzales, J., Herrera, B., Lema, N. E., Villacis, J. J., Reinoso, M., & Casco, G. (2014, Noviembre 11). Industrialización de la papa china Colocasia esculenta (L.) Schott con recubrimiento de chocolate en la provincia de Pastaza Papa china Colocasia esculenta (L.) Schott mikuy rurayka Pastaza markapi chocolate nishkawan masay sami. *Revistasocioambiental de la Amazonía Ecuatoriana*. ISSN1390–6801
- Espino Penilla, M., & Koot, Y. (2020, 12 14). Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. *Informes Científicos Técnicos, Volumen 4*(UNPA, 12), 146–160. <http://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>
- Estrada, A., Perez, B., Martinez-Sanchez, C. E., & Montañes-Soto, J. L. (2009, November). Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (Colocasia esculenta) Enzymatic production of maltodextrins from taro (Colocasia esculenta) starch. *Taylor & Francis*, Vol.7(No.3), 233-241. 10.1080/19476330903091300

- Federico Grossmann, F. (2017). *Propiedades Mecánicas de los Materiales*. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE MECANICA. [https://cadcamiutjaa.files.wordpress.com/2017/03/propiedades\\_mecanicas\\_de\\_los\\_materiales.pdf](https://cadcamiutjaa.files.wordpress.com/2017/03/propiedades_mecanicas_de_los_materiales.pdf)
- Flores Murillo, C. R., Peñafiel Pazmiño, M. E., & Vallejo López, A. (2021, Abril 30). La Malanga (Colocasia Esculenta) y su efecto en la colesterolemia. Propuesta de galletas hipocolesterolemicas. *RECIAMUC*, 5(2), 327-335. <https://www.reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/660/1004>
- Garcia, L., Bordallo, E., & Cordero, D. (2006). CELULOSA MICROCRISTALINA. *revista cubana quimica*, 8(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543688052>
- Getachew, A., Yilma, Z., & Abrha, S. (2020). Acetylation and Evaluation of Taro Boloso-I Starch as Directly Compressible Excipient in Tablet Formulation. *Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences*, 2020(1), 2708063. <https://doi.org/10.1155/2020/2708063>
- GRANADOS, C., GUZMAN, L., ACEVEDO, D., & DÍAZ, M. (2014, July/Dec). PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON DE SAGU (Maranta arundinacea). *SciELO*, Vol.12(no.2). ISSN 1692-3561
- Greenpeace. (2024). *Datos sobre la producción de plásticos | Greenpeace España - ES*. Greenpeace. Retrieved December 9, 2024, from <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Guerra, D., Bello Perez, L. A., Gonzalez Soto, R. A., Solorza Feria, J., & Arambula Villa, G. (2008, Noviembre 21). EFFECT OF REACTION TIME ON THE ACETYLATION OF PLANTAIN STARCH. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, Vol.7(No.3), 283-291. Apartado postal 24. C.P. 62731, Yautepec, Morelos, México. 2 Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro.

- Gupta, R. K., Guha, P., & Srivastav, P. P. (2024). Exploring the potential of taro (*Colocasia esculenta*) starch: Recent developments in modification, health benefits, and food industry applications. *Food Bioengineering*, 3(3), 365-379. <https://doi.org/10.1002/fbe2.12103>
- Hefnawy, T. H., Maghraby, L. M., & Abd-Rabou, M. (2020). MODIFICATION OF YELLOW CORN STARCH ACETYLATION BY ACETIC ANHYDRIDE. *Plant Archives*, Vol.20(No.2), pp. 9125-9132. e-ISSN:2581-6063
- Hernandez, A. S. (2018). *PREPARACIÓN DE FILMS A BASE DE QUITOSANO ENRIQUECIDO CON FLAVONOIDES TOTALES DE ÑACHAK (Bidens andicola)*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA. Retrieved Febrero 2, 2025, from <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/8829>
- Hernandez, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008, Julio). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726. <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNJk9Yf/?format=pdf&lang=es>
- Hernandez, M., Torruco-Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hiremani, V. D., Sataraddi, S., Bayannavar, P. K., Gasti, T., Masti, S. P., Kamble, R. R., & Chougale, R. B. (2020). Mechanical, optical and antioxidant properties of 7-Hydroxy-4-methyl coumarin doped polyvinyl alcohol/oxidized maize starch blend films. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1877. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03399-2>
- Huang, S., Zhu, X., Ma, S., Kim, Y. R., & Luo, K. (2024). Tween 80-mediated size-controlled self-assembly of resistant starch particle: A green and biodegradable white pigment for

food applications. *Food Hydrocolloids*, 153, 109993.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109993>

Ibikunle, A. A., Yussuf, S. T., Bamidele, R. A., Sanyaolu, N. O., & Ogundare, S. A. (2022). Comparative studies of acetylated and carboxymethylated starches obtained from red cocoyam (*Colocasia esculenta*) and white cocoyam (*Colocasia antiquorum*). *Scientia Africana*, 21(2), 175-188. 10.4314/sa.v21i2.17

Ibrahima, M. I. J., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Zuhri, M. Y. M. (2019). Physical, thermal, morphological, and tensile properties of cornstarch-based films as affected by different plasticizers. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 925-941.  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1618324>

Ilić, Z., Stanojević, L., Milenković, L., Šunić, L., Milenković, A., Stanojević, J., & Cvetković, D. (2022, November 7). The Yield, Chemical Composition, and Antioxidant Activities of Essential Oils from Different Plant Parts of the Wild and Cultivated Oregano (*Origanum vulgare* L.). *Horticulturae*, 8(11), 1042.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8111042>

Indrianti, N., Pranoto, Y., & Abbas, A. (2018). Preparation and Characterization of Edible Films Made from Modified Sweet Potato Starch through Heat Moisture Treatment. *Indonesian Institute of Sciences*, 18(4), 679–687. <https://doi.org/10.22146/ijc.26740>

Jagadeesan, S., Govindaraju, I., & Mazumder, N. (2020). An Insight into the Ultrastructural and Physiochemical Characterization of Potato Starch: a Review. *American Journal of Potato Research*, 97(5), 464–476. <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09798-w>

Jinwei Zhou, S., Yufei Chen, Y., Cunshan Zhou, Y., Guohua Xia, W., & Huan Yang, Y. (2022, July 1). Preparation and characterization of oregano essential oil-loaded *Dioscorea zingiberensis* starch film with antioxidant and antibacterial activity and its application in

chicken preservation. *ScienceDirect*, Vol.212, Pages. 20-30.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.114>

Jordi Bordas. (2023, March 9). *Almidones modificados y nativos / CZ app*. Jordibordas. Retrieved January 14, 2025, from <https://jordibordas.com/blog/la-estructura-molecular-de-los-almidones/>

Kumar, P., Tanwar, R., Gupta, V., Upadhyay, A., Kumar, A., & Gaikwad, K. K. (2021). Pineapple peel extract incorporated poly(vinyl alcohol)-corn starch film for active food packaging: Preparation, characterization and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 223-231.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.136>

Lara-Gómez, A. B., Aguirre-Loredo, R. Y., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Hernández-Juárez, M., & Gómez-Aldapa, C. A. (2022). Películas de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.), empaques innovadores para alimentos: una revisión. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(19), 11-22.  
<https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8965>

Lauer, M. K., & Smith, R. (2020). Recent advances in starch-based films toward food packaging applications: Physicochemical, mechanical, and functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3031-3083.  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12627>

Lang, H., Chen, X., Tian, J., Chen, J., Zhou, M., Lu, F., & Qian, S. (2022). Effect of Microcrystalline Cellulose on the Properties of PBAT/Thermoplastic Starch Biodegradable Film with Chain Extender. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 4517, 14(21), 4517. <https://doi.org/10.3390/POLYM14214517>

Leon, A., Bravo, N., Pandia, S., Aleman, M., & Romero, R. (2022). Desarrollo y caracterización de biopelículas a partir de mezclas de almidón de maíz - papa, sorbitol y aceite esencial

de orégano (*Origanum vulgare*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3).  
<http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.401>

León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., De La Espriella-Angarita, S., & Herrera-Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-629. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>

LibreTexts. (2022, October 30). *Cómo influye la temperatura en la solubilidad*. LibreTexts Español. Retrieved January 19, 2025, from [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica\\_Introductoria%2C\\_Conceptual\\_y\\_GOB/Qu%C3%ADmica\\_Introductoria\\_\(CK-12\)/16%3A\\_Soluciones/16.04%3A\\_C%C3%B3mo\\_influye\\_la\\_temperatura\\_en\\_la\\_solubilidad](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Introductoria%2C_Conceptual_y_GOB/Qu%C3%ADmica_Introductoria_(CK-12)/16%3A_Soluciones/16.04%3A_C%C3%B3mo_influye_la_temperatura_en_la_solubilidad)

Lima, D. C., Castanha, N., Maniglia, B. C., Matta Junior, M. D., La Fuente, C. I. A., & Augusto, P. E. D. (2021). Ozone Processing of Cassava Starch. *The Journal of the International Ozone Association*, 43(1), 60-77. <https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1756218>

Lizano, C. D., Ronquillo, C. L., Román, F. G., & Vera, R. Y. (2022, December 01). Análisis Cuantitativo de la Competitividad de las Exportaciones de Malanga Ecuatoriana a Estados Unidos. *ECONOMÍA Y NEGOCIOS*, 13, 71-92. <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/economia-y-negocios/article/view/1075/887>

Lopez, N., Gutierrez, E., Vazquez, G., & Heredia, B. (2017, junio 14). Aceites esenciales de orégano: actividad biológica más allá de sus propiedades antimicrobianas. *PubMetalcenter*, (9). 10.3390/molecules22060989

Luna, G., Villada, H., & Velasco, R. (2009). ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO DE YUCA REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE: PRELIMINARES. *Departamento de*

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n159/a15v76n159.pdf>

- Luo, Z. G., & Shi, Y. C. (2018). Distribution of acetyl groups in acetylated waxy maize starches prepared in aqueous solution with two different alkaline concentrations. *Food Hydrocolloids*, 79, 491-497. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.015>
- Makhmudun, S., & Mohammad, W. (2024, April 11). Caracterización y selección de celulosa microcristalina de racimos vacíos de frutos de palma aceitera para el fortalecimiento de películas de hidrogel. *Journal of Renewable Materials*, 12(3), Pages 513-537. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.045586>
- Maniglia, B. C., Laroque, D. A., de Andrade, L. M., Carciof, B. A. M., Tenório, J. A. S., & de Andrade, C. J. (2019). Production of active cassava starch films; effect of adding a biosurfactant or synthetic surfactant. *Reactive and Functional Polymers*, 144, 104368. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104368>
- Martinez, O., Lapo-Calderón, B., Pérez-Rodríguez, J., Zambrano-Cabrera, C., & Maza-Valle, F. (2015, May/Aug). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *SciELO*, vol.44(no.2). <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>
- Martins, P. C., Bagatini, D. C., & Martins, V. G. (2021). Oregano essential oil addition in rice starch films and its effects on the chilled fish storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1562–1573. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04668-z>
- Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022, June). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303>

- Matos Medina, I. Y., & Diaz Milla, J. B. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de (Persea americana) y almidón de (Mangifera indica)*. Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3939/52451.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meaño, N., Ciarfella, A., & Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *SciELO*, Vol.26(N.2), pp.182-188. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622014000200011&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000200011&lng=es&nrm=iso)
- Mendes, J. F., Norcino, L. B., Martins, H. H. A., Manrich, A., Otoni, C. G., Carvalho, E. E. N., Piccoli, R. H., Oliveira, J. E., Pinheiro, A. C. M., & Mattoso, L. H. C. (2020). Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil. *Food Hydrocolloids*, 100, 105428. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105428>
- Mera Mendoza, C. (2020). Chemical characterization of essential oil of oregano as a bioconservative agent in food. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 24(105), 54-62. 10.47460/uct.v24i105.381
- Montoya-Anaya, D. G., Madera-Santana, T. J., Aguirre-Mancilla, C. L., Grijalva-Verdugo, C., GonzalesGarcia, G., Nuñez-Colín, C. A., & Rodriguez-Nuñez, J. R. (2023, Febrero 8). Physicochemical characterization of residual potato (*Solanum tuberosum*) starch recovered from the potato chips industry in Mexico. *Journal of biological and health sciences*, 25(2), 60-72. 10.18633/biotecnia.v25i2.1880
- Morales, F. (2023, 06 10). <https://www.20minutos.es/gastronomia/productos/estos-son-los-10-alimentos-mas-consumidos-del-mundo-5135690/>. Gastronomía. Retrieved 12 09, 2026,



from <https://www.20minutos.es/gastronomia/productos/estos-son-los-10-alimentos-mas-consumidos-del-mundo-5135690/>

Mustafa, P., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Samin, G., Hussain, A., Ahmed, T., & Naqvi, S. R. (2019). PVA/starch/propolis/anthocyanins rosemary extract composite films as active and intelligent food packaging materials. *Journal of Food Safety*, 40(1), e12725. <https://doi.org/10.1111/jfs.12725>

Muñiz-Acuña, N. S., Báez-González, J. G., Castillo-Hernández, S. L., García-Márquez, E., & Bautista-Villarreal, M. (2023). Evaluación de las propiedades tecno-funcionales del almidón de camote (*Ipomoea batatas*). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 759–767. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.98>

Nadia, S., Madureira, A., Pintado, M., & Moreira, P. (2024, Octubre 01). Recubrimientos de quitosano reforzados con cristales de celulosa y aceite esencial de orégano como protección antimicrobiana contra la contaminación microbiológica de esculturas de piedra. *Enlace de la naturaleza*, Vol.31, páginas 9825–9845. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06149-4>

Nagar, C. K., Dash, S. K., Rayaguru, K., Pal, U. S., & Nedunchezhiyan, M. (2021, Diciembre 1). Isolation, characterization, modification and uses of taro starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 192, 574-589. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.041>

Nizam, N. H. M., Rawi, N. F. M., Ramle, S. F. M., Aziz, A. A., Abdullah, C. K., Rashedi, A., & Kassim, M. H. M. (2021). Physical, thermal, mechanical, antimicrobial and physicochemical properties of starch based film containing aloe vera: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 1572-1589. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.138>

- Nordin, N., Othman, S. H., Rashid, S. A., & Basha, R. K. (2020). Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*, *106*, 105884. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105884>
- ONU. (2021, December 22). *Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos*. UN Environment Programme. Retrieved January 11, 2025, from <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos>
- Onyeaka, H., Obileke, K., Makaka, G., & Nwokolo, N. (2022, March 11). Current Research and Applications of Starch-Based Biodegradable Films for Food Packaging. *Polymers*, *14*(6), 1126. <https://doi.org/10.3390/polym14061126>
- Otache, M. A., Duru, R. U., Achugasim, O., & Abayeh, O. J. (2021). Advances in the Modification of Starch via Esterification for Enhanced Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, *29*(5), 1365–1379. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-02006-0>
- Othman, N. A., Adam, F., & Mat Yasin, N. H. (2021). Reinforced bioplastic film at different microcrystalline cellulose concentration. *Materials Today: Proceedings*, *41*, 77–82. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.11.1010>
- Pacheco, G. (2021). *EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE HOJUELAS DE PAPA CHINA (Colasia esculenta) ENRIQUECIDO CON QUINUA (Chenopodium quinoa)*. UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA MENCIÓN AGROIND. <https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4203/1/santiago%2014.2%20FINAL-2.pdf>
- Pinto, J. P., D'souza, O. J., Hiremani, V. D., Dalbanjan, N. P., Kumar, S. P., Narasagoudr, S. S., Masti, S. P., & Chougale, R. B. (2023). Functional properties of taro starch reinforced

polysaccharide based films for active packaging. *Food Bioscience*, 56, 103340.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103340>

Ponce Ramirez, J. A., & Horna Menacho, N. R. (2023). *Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihota Sculenta y fibras de Cynara Scolymus*. Universidad Nacional de Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4336>

PROECUADOR. (2018, July 5). *Ficha de Malanga – PRO ECUADOR*. PRO ECUADOR. Retrieved November 12, 2024, from <https://www.proecuador.gob.ec/ficha-de-malanga/>

Púa, A. L., Barreto, G. E., Zuleta, J. L., & Herrera, O. D. (2018, Sep 26). *Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (Colocasia esculenta Schott) en el Trópico Seco de Colombia*. SciELO Chile. Retrieved November 7, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000400069&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000400069&script=sci_abstract)

Punia, S., Kumar, M., Siroha, A. K., Kennedy, J. F., Dhull, S. B., & Whiteside, W. S. (2021). Pearl millet grain as an emerging source of starch: A review on its structure, physicochemical properties, functionalization, and industrial applications. *Carbohydrate Polymers*, 260, 117776. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117776>

Raul, M., Haro, C., & Brito, H. (2021, Enero-Marzo). Identificación de las variables de proceso óptimas para la producción del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*). *DOMINIO DE LAS CIENCIAS*, Vol.7(num.1), 837-848. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1680>

Ren, H., Xu, Z., Gao, M., Xing, X., Ling, Z., Pan, L., Tian, Y., Zheng, Y., Fan, W., & Yang, W. (2023). Preparation of microcrystalline cellulose from agricultural residues and their application as polylactic acid/microcrystalline cellulose composite films for the preservation of Lanzhou lily. *International Journal of Biological Macromolecules*, 227, 827–838. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.12.198>

- Rene Ceron, A. (2013, Dec). EL PROBLEMA DE LA HIDROFILICIDAD EN MATERIALES PLÁSTICOS DERIVADOS DE ALMIDÓN. *SciELO*, Vol.11, 41-48. ISSN 1692-3561
- Rentería, A., López Sampedro, S. E., o Paredes Peralta, A. V., & Baño-Ayala, D. J. (2021, Agost). Obtaining Chinese potato starch (colocasia esculenta) by three extraction methods. *Polo del Conocimiento*, Vol.6(Nro.8), pp. 702-715. 10.23857/pc.v6i8
- Rentería, A., Sampedro, S. E. L., Peralta, A. V. P., & Ayala, D. J. B. (2021). Obtención de fécula de papa china(colocasia esculenta) mediante tres métodos de extracción. *Polo del Conocimiento*, 6(8), 702 -715. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i8.2973>
- Rincón, A., Bou, L., Aragoza, L., & Padilla, F. (2007, Sep). Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *SciELO*, 57(3). ISSN 2309-5806
- Rincón Aguirre, A., Bello Perez, L. A., Mendoza, S., del Real, A., & Rodríguez García, M. E. (2018). Physicochemical Studies of Taro Starch Chemically Modified by Acetylation, Phosphorylation, and Succinylation. *Starch - Stärke*, 70(3-4), 1700066. <https://doi.org/10.1002/star.201700066>
- Rivas, PhD, N. L. (2020, Enero). La papa china: un corno potencial en el pacifica colombiano. *Programa de agronomia, Docente, Universidad del Pacifico*. <http://www.unipacifico.edu.co:8095/publicacionesunipa/documentos/FichaTecnicaPA-001.pdf>
- Rocha, A. A., Macêdo, E. B. V., Almeida, M. F., Santos, L. S., & Veloso, C. M. (2022). Edible Films Based on Arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) Starch Incorporated with Licuri Oil (*Syagrus coronata*) and Tween 80. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(11), 4821-4834. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02550-x>
- Salcedo M, J. G., Figueroa F, J. A., & Hernández R, E. (2017, Noviembre 30). *Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización*.

<https://unisucre.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/Agroindustria-Productos-Amilaceos-2.pdf>

- Salmon, L., Paucar, G., Majerhua, N., Avellaneda, K., & Jimenez, M. (2023, INVESTIGACION APLICADA E INNOVACION). Estudios de las propiedades del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y caracterización por FITR ATR. *TECSUP*, Vol.17, 87-96. <https://doi.org/10.71701/mtz35h19>
- Sánchez Llaguno, S. N., Narvaez Narvaez, R. I., Neira Mosquera, J. A., & Plua Montiel, J. A. (2023). Obtención de almidón de malanga: *Colocasia esculenta* L. y *Xanthosoma sagittifolium* L, mediante la aplicación de tres métodos químicos. *Revista InGenio*, 6(2), 40-50. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.677>
- Sandoval, J. L. S., Fonseca, P. E. R., Arévalo, A. O. H., Sira, E. E. P., Ricci, J., & Dufour, D. (2021). Development and Characterization of Edible Films from Chachafruto (*Erythrina edulis* Triana) Starch. *Starch-Stärke*, 73(9 -10), 2000269. <https://doi.org/10.1002/star.202000269>
- Shen, J., Chengyu Yang, Z., Zhou, Y., Guohua, L., & Huan, X. Y. (2020, Enero). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>
- Singla, D., Singh, A., Dhull, S. B., Kumar, P., Malik, T., & Kumar, P. (2020). Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1283-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>
- Solano, L., Beltrán, L., & Jiménez, C. (2020, Diciembre). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *SciELO*, Vol.21(2). <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>

- Song, X., Zuo, G., & Chen, F. (2018). Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1302-1309. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114>
- Songor, M., & Tenesaca, A. (2019, Marzo 14). *Extracción y uso de almidón de papa china (Colocasia Esculenta) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados*. Cuenca: Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/1574198d-8d62-4b5a-bab7-80fad97f44b2>
- Srivastava, V., Singh, S., & Das, D. (2024, February). Development and characterization of peppermint essential oil/rice husk fibre/ corn starch active biocomposite film and its performance on bread preservation. *Industrial Crops and Products*, 208, 117765. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117765>
- Su, C. Y., Li, D., Wang, L. J., & Wang, Y. (2023). Biodegradation behavior and digestive properties of starch-based film for food packaging – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(24), 6923-6945. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2036097>
- Subroto, E., Cahyana, Y., Indiarso, R., & Rahmah, T. A. (2023). Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications. *Polymers*, 15(14), 2990. <https://doi.org/10.3390/polym15142990>
- Sudhakar, P., Thenmozhi, V., Srivignesh, S., & Dhanalakshmi, M. (2020). Colocasia esculenta (L.) Schott: Pharmacognostic and pharmacological review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1382-1386. [10.22271/phyto.2020.v9.i4s.11937](https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i4s.11937)
- Tanwar, R., Gupta, V., Kumar, P., Kumar, A., Singh, S., & Gaikwad, K. K. (2021). Development and characterization of PVA-starch incorporated with coconut shell extract and sepiolite

clay as an antioxidant film for active food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 451-461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.179>

Tarique, J., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports*, 11(1), 13900. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y>

Tirado-Gallegos, J. M., Zamudio-Flores, P., Bustillos-Rodríguez, J., Acosta-Muñiz, C., Calderón-Loera, R., López-Mata, M. A., Pacheco-Vargas, G., Hernández-González, M., López-De la Peña, H., & Ortega-Ortega, A. (2024, Noviembre 08). Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano. *SciELO*. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2072>

Tirado-Gallegos, J. M., Zamudio-Flores, P. B., Bustillos-Rodríguez, J. C., Acosta-Muñiz, C. H., Calderón-Loera, R., López-Mata, M. Á., Pacheco-Vargas, G., Hernández-González, M., López-De la Peña, H. Y., Ortega-Ortega, A., Vela-Gutiérrez, G., & Espinosa-Solis, V. (2024). Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano. *Biotecnia*, 26, e2072. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2072>

Tommy, Y. R. Y., & Yongfeng, C. M. (2021, April 2). A current review of structure, functional properties, and industrial applications of pulse starches for value-added utilization. *NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE*, 3061–3092. 10.1111/1541-4337.12735

Torres, F. G., & De-la-Torre, G. E. (2022). Synthesis, characteristics, and applications of modified starch nanoparticles: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 289-305. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.187>

- Torres, M., García, R., & Aguirre, A. (2015, Junio). Obtaining and structural characterization and functional of acetylated starch of taro (*Colocasia esculenta* Schott). *SciELO Mexico*, 6(4). ISSN 2007-0934
- Torres Rapelo, A., Montero Castillo, P., & Duran Lengua, M. (2013, July/Dec). *Physical-chemical, morfologic and functional properties of malanga starch (Colocasia esculenta)*. SciELO. Retrieved Enero 19, 2013, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492013000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492013000200007)
- Trejo Cuevas, K., Rodríguez Castillejos, G., Reyes Gallardo, J., Lizarazo Ortega, C., & Hernández Jiménez, C. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 41(1), 44-51. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.6>
- Trela, V. D., Ramallo, A. L., & Albani, O. A. (2020). Synthesis and Characterization of Acetylated Cassava Starch with Different Degrees of Substitution. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180292. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020180292>
- Trela, V. D., Ramallo, A. L., & Albani, O. A. (2020). Synthesis and Characterization of Acetylated Cassava Starch with Different Degrees of Substitution. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180292. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020180292>
- Trujillo, J., Ordóñez, E. S., Reátegui, D., & Iturri, M. S. (2024, Septiembre 30). Almidón de *Colocasia esculenta* (L.) Schott de variedades esculenta morada y blanca: propiedades térmicas, tecnológicas y estudio morfológico. *SciELO*, vol.77(no.3), Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574>



- Trujillo, J. L. (2022, Febrero). “*CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, COLOR, PROPIEDADES FUNCIONAL Y TÉRMICA DE DOS VARIEDADES DE PITUCA (Colocasia esculenta L. Schott) EN TINGO MARÍA*”. FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. Retrieved Enero, 2024, from <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0049861c-ff19-494c-9d54-9fab06f5d028/content>
- Trujillo-Ccanahuire, J., Ordoñez, E. S., Reategu, D., & Iturri, M. S. (2024). Starch from *Colocasia esculenta* (L.) Schott of purple and white esculenta varieties: Thermal, technological properties, and morphological study. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(3), 10887-10897. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574>
- Tupa, M. V., Ramírez, J. A. Á., Analía, & Foresti, M. L. (2015). Organocatalytic acetylation of starch: Effect of reaction conditions on DS and characterisation of esterified granules. *Food Chemistry*, 170, 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.062>
- Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2016, April 18). Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. *Science Direct*, 1-15. [10.1016/j.jclepro.2016.04.077](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.077)
- Vargas, G., Martinez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *SciELO*, 7(spe). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vargas-González, L., Félix-Serrano, I., Rodríguez-González, F. J., López-González, H. R., & Navarro-Rodríguez, D. (2023). Esterificación de almidón en medio ácido utilizando anhídrido acético. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11(5), 134-140. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial5.11828>

- Vazquez, M., & Guerrero, J. (2017). Efecto del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* sobre propiedades fisicoquímicas en películas de quitosano. *SciELO*, VOL.8(NO.4).  
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.11>
- Walasek-Janusz, M., Grzegorzcyk, A., Malm, A., Nurzyńska-Wierdak, R., & Zalewski, D. (2024, January 16). Chemical Composition, and Antioxidant and Antimicrobial Activity of Oregano Essential Oil. *Molecules*, 29(2), 435.  
<https://doi.org/10.3390/molecules29020435>
- Waldyr, S., Castillo, F., & Sierra, C. (2015, Agosto). Evaluación de la precisión y exactitud para la determinación gravimétrica de solidos disueltos totales en aguas. *Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.*, 2(2). ISSN 2389-9484
- Yang, Q., Zheng, F., Chai, Q., Li, Z., Zhao, H., Zhang, J., Nishinari, K., Zhao, M., & Cui, B. (2024). Effect of emulsifiers on the properties of corn starch films incorporated with *Zanthoxylum bungeanum* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 128382. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128382>
- Yao, X., Qin, Y., Zhang, M., Zhang, J., Qian, C., & Liu, J. (2021). Development of active and smart packaging films based on starch, polyvinyl alcohol and betacyanins from different plant sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 358-368.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.152>
- Yermekov, Y. Y., Toimbayeva, D. B., Kamanova, S. G., Murat, L. A., Muratkhan, M., Saduakhasova, S. A., Aidarkhanova, G. S., & Ospankulova, G. K. (2021). Investigation of the effect of acetylation on the physicochemical properties of grain starches. *Bulletin of the Karaganda university Biology. Medicine. Geography series*, 104(4), 22-30.  
<https://doi.org/10.31489/2021bmg4/22-30>

- Yong, H., & Liu, J. (2020). Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100550. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100550>
- Yurong, G., & Dapeng, L. (2020). Preparation and characterization of corn starch/PVA/glycerol composite films incorporated with  $\epsilon$ -polylysine as a novel antimicrobial packaging material. *e-Polymers*, 20(1), 154–161. <https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0019>
- Yussuf, S. T., Ibikunle, A. A., Sanyaolu, N. O., Ogundare, S. A., Adesanya, M. A., Atewolara-Odule, C. O., Ogunmoye, A. O., Adeleke, A. A., Hashimi, A. M., & Olubomehin, O. O. (2023). Preparation, functional and pasting behavior of starch phosphates of red cocoyam (*Colocasia esculenta*) and white cocoyam (*Colocasia antiquorum*): a comparative study. *Scientia Africana*, 21(3), 133-144. 10.4314/sa.v21i3.11
- Zhai, X., Zhang, X., Ao, H., Yin, Y., Li, X., & Ren, D. (2021). Preparation and characterization of whey protein isolate/chitosan/microcrystalline cellulose composite films. *Packaging Technology and Science*, 34(9), 589–599. <https://doi.org/10.1002/PTS.2597>
- Zamudio Flores, P. B., Vargas Torres,, A., Pérez González,, J., & Bosquez Molina,, E. (2006). Films Prepared with Oxidized Banana Starch: Mechanical and Barrier Properties. *Starch*, Vol.58(No.6), Pages 274-282. <https://doi.org/10.1002/star.200500474>
- Zhelyazkov, S., Zsivanovits, G., Stamenova, E., & Marudova, M. (2022). Physical and Barrier Properties of Clove Essential Oil Loaded Potato Starch Edible Films. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(4), 4603 - 4612. <https://doi.org/10.33263/BRIAC124.46034612>
- Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 574-583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>

## ANEXOS

### Clasificación y sección de papa china variedad colocasia esculenta



### Extracción de almidón de papa china variedad Colocasia esculenta



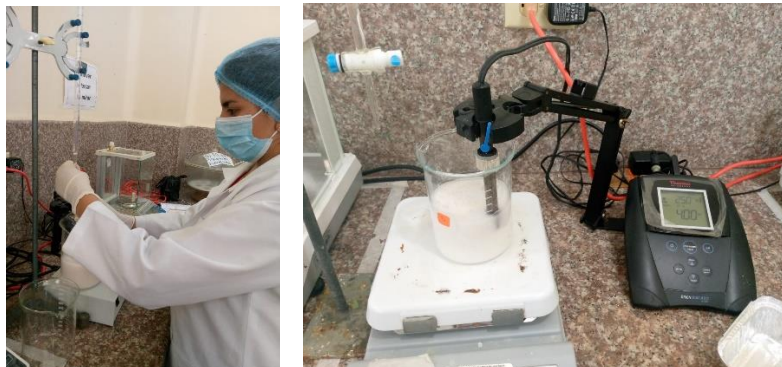
### Identificación de almidón con lugol



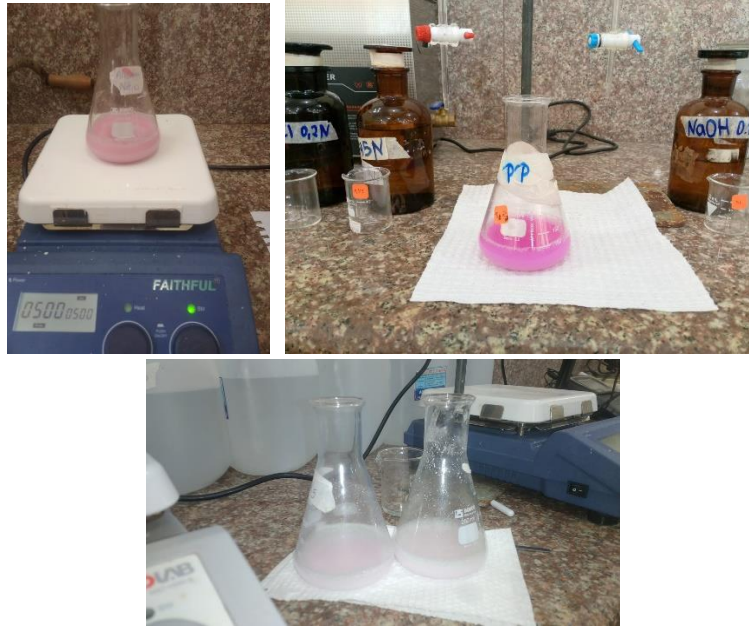
### Propiedades funcionales del almidon de papa china



### Acetilacion del almidon de papa china



### Identificacion del porcentaje de acetilo y grado de sustitucion en el almidon modificado de papa china



### Extraccion de aceite esencial de oregano



### Elaboracion de pelicula del almidon de la papa china



### **Propiedades mecánicas de las películas de almidón de papa china**

