



**UTMACH**

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

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**Estudio de las condiciones de modificación por acetilación del almidón de  
banano y sus efectos en las propiedades funcionales**

**MARQUEZ ORDOÑEZ AMBAR NATIVIDAD  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**CHAMBA CRUZ ANDREINA LIZBETH  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

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

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**Estudio de las condiciones de modificación por acetilación del almidón de banano y sus efectos en las propiedades funcionales**

**MARQUEZ ORDOÑEZ AMBAR NATIVIDAD  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**CHAMBA CRUZ ANDREINA LIZBETH  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

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

**CARRERA DE ALIMENTOS**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Estudio de las condiciones de modificación por acetilación del almidón de banano y sus efectos en las propiedades funcionales**

**MARQUEZ ORDOÑEZ AMBAR NATIVIDAD  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**CHAMBA CRUZ ANDREINA LIZBETH  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**CEDEÑO SARES LUIS ALBERTO**

**MACHALA  
2024**

# TT\_2024D2\_Chamba\_Márquez (2)

**10%**  
Textos sospechosos



**14% Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
4% entre las fuentes mencionadas (ignorado)  
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TT\_2024D2\_Chamba\_Márquez (2).docx  
ID del documento: 99f0c1067daab6fc100bcacf25236ede288dbeeb0  
Tamaño del documento original: 6,95 MB  
Autores: []

Depositante: LUIS ALBERTO CEDEÑO SARES  
Fecha de depósito: 17/2/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 17/2/2025

Número de palabras: 13.947  
Número de caracteres: 94.471

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>repositorio.utmachala.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf">https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf</a> 68 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (470 palabras)
2	<b>repositorio.utmachala.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-...">https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-...</a> 46 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (279 palabras)
3	<b>dialnet.unirioja.es</b> <a href="https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf">https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf</a> 57 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (150 palabras)
4	<b>www.redalyc.org</b>   EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURA... <a href="https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf">https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf</a> 43 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (170 palabras)
5	<b>revistas.utb.edu.ec</b> <a href="https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/download/2965/2621">https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/download/2965/2621</a> 40 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (143 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>repositorio.uvg.edu.gt</b> <a href="https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/123456789/5648/1/Tesis final corregida formato 2...">https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/123456789/5648/1/Tesis final corregida formato 2...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	<b>www.sciencedirect.com</b>   Testing properties of potato starch from different scales o... <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406002858">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406002858</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	<b>ciencia.lasalle.edu.co</b> <a href="https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/4220dbfa-bf47-43ed-9c2a-e1b9c17fb442/download">https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/4220dbfa-bf47-43ed-9c2a-e1b9c17fb442/download</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	<b>www.redalyc.org</b>   Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un ... <a href="https://www.redalyc.org/journal/3090/309058491012/309058491012.pdf">https://www.redalyc.org/journal/3090/309058491012/309058491012.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
5	<b>repositorio.utc.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.utc.edu.ec/bitstreams/4cf52894-4ca0-45eb-bfa8-ccb48d5b5ee6/download">https://repositorio.utc.edu.ec/bitstreams/4cf52894-4ca0-45eb-bfa8-ccb48d5b5ee6/download</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

**Fuentes ignoradas** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>dialnet.unirioja.es</b>   El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón... <a href="https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8228820.pdf">https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8228820.pdf</a>	2%		Palabras idénticas: 2% (279 palabras)
2	<b>investigacion.utmachala.edu.ec</b>   Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas... <a href="https://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/download/510/206">https://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/download/510/206</a>	2%		Palabras idénticas: 2% (279 palabras)
3	<b>www.scielo.org.mx</b> <a href="http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n4/v6n4a19.pdf">http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n4/v6n4a19.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
4	<b>pubmed.ncbi.nlm.nih.gov</b>   Cassava starch films containing acetylated starch nanop... <a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25933516/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25933516/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

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

- <https://doi.org/10.32645/13906925.813>
- <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4548>

3  <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2022.2052087#abstract>

4  <https://ssrn.com/abstract=4113796>

5  <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.009>

## Puntos de interés

### Dedicatoria

Dedico el presente documento principalmente a Dios, por guiarme en mi camino y darme fortaleza para seguir adelante. A mis Padres, Tarcila Jacinta Cruz Ramírez y Santos Gilberto Chamba Túqueres, por siempre darme apoyo, consejos y estar para mí cuando más los necesitaba. A mi hermana, Angeline Mishell Chamba Cruz, por siempre estar para mí incondicionalmente, escuchándome en todo momento. A mi abuelita Ramírez Mite Santos María Magdalena, la cual me cuida y guía desde el cielo. A todos mis docentes de la Carrera de Alimentos, que han sido parte de todo el Proceso de mi formación profesional académica desde primer semestre hasta la actualidad. Con todo el cariño del mundo, ¡Gracias!

Andreina Lizbeth Chamba Cruz

En primer lugar, le agradezco a Dios y a toda mi familia que me ha guiado, apoyado y han sido mis incondicionales durante esta etapa de mi vida universitaria. A mis padres, Jessica Ordóñez y Vinicio Márquez por apoyarme en cada etapa de mi vida, por cumplir, por ser mi confort y guía en cada meta que me he planteado. A mi abuela que siempre estuvo pendiente de mí, presta para brindarme sus consejos. A mis hermanas, Anahis y Francesca, por estar para mí cuando más las necesitaba. A mi tía, por siempre preocuparse por mi bienestar. A mi mejor amiga, Paula, le agradezco su amistad incondicional, respaldo constante y su cariño reconfortante que me brindó para seguir adelante. A nuestros docentes de la Carrera, les agradezco por compartir sus experiencias en el campo laboral y académico.

Ámbar Natividad Márquez Ordóñez

### Agradecimientos

En primer lugar, le agradezco a Dios y a mi familia, que me ha guiado y han sido mi constante apoyo durante esta etapa de mi vida. A mis padres, Jessica Ordoñez y Vinicio Márquez, por apoyarme a cumplir todas las metas que me he planteado. A mi abuela, que siempre estuvo pendiente de mí, presta para brindarme sus consejos. A mis hermanas, Anahis y Francesca, por su paciencia y cariño incondicional. A mi tía, por siempre preocuparse por mi bienestar. A mi compañera de tesis y amiga, Andreina Chamba, por su paciencia, apoyo y la confianza que depositó en mí durante todo este proceso. De igual manera, quiero agradecer a mis compañeros y amigos que hice en estos años, por ayudarme a sobrellevar todo, con los cuales he podido disfrutar de mi vida universitaria. A mi mejor amiga, Paula, le agradezco su amistad, respaldo constante y su cariño incondicional que me brindó para seguir adelante, amistad con la cual compartí todos los años de mi vida universitaria y con la cual espero compartir muchos recuerdos más. A mi profesor de titulación Ing. Fabián, por su paciencia y conocimiento impartido y a mi profesora de primer semestre Ing. Linda Cabrera por sus consejos que me brindo motivándome a seguir adelante. A nuestro tutor, el Ing. Luis Cedeño, le agradezco por compartir su experiencia y sabiduría.

Ámbar Natividad Márquez Ordóñez

Con todo el amor de mi corazón agradezco en esta etapa de mi vida, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y paciencia en todo este proceso. A mis padres, Tarcila Jacinta Cruz Ramírez y Santos Gilberto Chamba Túqueres, por sus consejos y enseñanzas. A mi familia, por su apoyo incondicional. A mi tutor de tesis, el Ing. Luis Cedeño, por su invaluable guía y por compartir sus conocimientos. A mi compañera de tesis y ahora amiga, Ámbar Márquez, que confió en mí para este proyecto importante en nuestras vidas. A mi profesora del primer semestre, Linda Cabrera, quien con su mensaje de apoyo me motivó a seguir adelante. A los ingenieros que conocí con mucha admiración y respeto, Fabián C, Gabriela J, Joaquín S, Santiago B, Wilson C, Karen M y Humberto A, por transmitir su sabiduría y exigirme siempre lo mejor de mí. A mis amigas desde primer semestre, con quienes compartí clases, risas, anécdotas y muchos buenos momentos (Vanessa B, Alexi R y Deyamira F). A mis grandes amistades que conocí en el trayecto (Geovanna E, Gissella C, Valeria S, Nathaly M, Denisse J, Diego B, Nicol R, Daniel C, Karelys Z).

Andreina Lizbeth Chamba Cruz

### Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito estudiar el efecto de las condiciones de modificación en las propiedades fisicoquímicas del almidón de banano (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish.). En la extracción del almidón se empleó el método de molienda húmeda, donde se obtuvo un rendimiento del  $9,671 \pm 1,545$  %, posteriormente se realizó una modificación química por acetilación usando anhídrido acético como agente modificante a diferentes temperaturas de reacción (30, 40 y 50 °C). Luego se evaluó el grado de modificación a través de porcentaje de grupos acetilo y grado de sustitución; además, la composición química (porcentajes de hidratos de carbono, proteína, grasas, humedad, cenizas y fibra cruda) y las propiedades físicas (poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua, capacidad de retención de aceite, índice de absorción de agua, densidad aparente y sinéresis) de los almidones acetilados a distintas temperaturas en comparación con su contraparte nativa. Se demostró que al incrementar la temperatura de reacción hubo un incremento en el porcentaje de grupos acetilo (% AC) y grado de sustitución ( $p \leq 0,05$ ), alcanzando valores de (%AC) de  $3,3104 \pm 0,3826$  % y valores de grado de sustitución (GS) de  $0,1289 \pm 0,0154$  respectivamente, caso similar que sucedió con los porcentajes de ceniza, lípidos, proteínas, fibra, humedad ( $p \leq 0,05$ ), caso contrario se reportó en Hidratos de carbono, evidenciando que las condiciones de reacción y las variedades afectan la composición química de los almidones acetilados. Por otro lado, las propiedades funcionales como poder de hinchamiento, índice de solubilidad de agua e índice de absorción de agua, se evidencio que los almidones nativos sometidos a temperaturas máximas de reacción (50 °C) alcanzaron los valores más altos de modificación, cuando se sometieron a temperaturas de 90 °C; en tanto que su capacidad de retención de aceite se incrementó ( $p \leq 0,05$ ); lo opuesto sucedió en la densidad aparente ( $p \leq 0,05$ ) la densidad aparente disminuía al alcanzar la temperatura máxima de reacción de (50 °C). Ante la refrigeración los almidones acetilados se comportaron de forma que disminuye el grado de retrogradación en el transcurso de los días evidenciando mayor estabilidad a la refrigeración en almidones acetilados a una temperatura de reacción de 50 °C. Palabras clave: almidón nativo, acetilación del almidón, grupos acetilo, propiedades funcionales, escala de madurez.

### Abstract

The present research work aims to study the effect of modification conditions on the physicochemical properties of banana starch (*Musa spp.* AAA subgroup Cavendish). In the starch extraction process, the wet milling method was used, yielding a recovery rate of  $9.671 \pm 1.545$  %. Subsequently, a chemical modification was carried out through acetylation, using acetic anhydride as the modifying agent at different reaction temperatures (30, 40, and 50°C). The degree of modification was evaluated based on the percentage of acetyl groups and the degree of substitution. Additionally, the chemical composition (percentages of carbohydrates, protein, fats, moisture, ash, and crude fiber) and physical properties (swelling power, water solubility index, oil retention capacity, water absorption index, bulk density, and syneresis) of the acetylated starches were analyzed at different temperatures and compared to their native counterparts. The increasing of the reaction temperature led to a significant increase in the percentage of acetyl groups (% AC) and the degree of substitution ( $p \leq 0.05$ ), reaching values of %AC of  $3.3104 \pm 0.3826\%$  and degree of substitution of  $0.1289 \pm 0.0154$ , respectively. A similar trend was observed for ash, lipids, proteins, fiber, and moisture content ( $p \leq 0.05$ ). In contrast, carbohydrate content decreased, indicating that reaction conditions and varieties affect the chemical composition of acetylated starches. Regarding functional properties, such as swelling power, water solubility index, and water absorption index, it was observed that native starches subjected to maximum reaction temperatures (50°C) achieved the highest modification values when exposed to temperatures of 90°C. Meanwhile, their oil retention capacity increased significantly ( $p \leq 0.05$ ). Conversely, bulk density decreased as the maximum reaction temperature (50°C) was reached ( $p \leq 0.05$ ). During refrigeration, acetylated starches exhibited reduced retrogradation over time, demonstrating greater stability under refrigeration for starches acetylated at a reaction temperature of 50°C.

Keywords: Native starch, starch acetylation, acetyl groups, functional properties, maturity scale.

## ÍNDICE GENERAL

### INTRODUCCIÓN9

### PROBLEMÁTICA10

### JUSTIFICACIÓN11

### CAPÍTULO I13

### MARCO TEÓRICO13

#### 1.1 Banano13

##### 1.1.1 Generalidades13

##### 1.1.2 Composición Nutricional15

- 1.1.3 Escala de Maduración del Banano15
- 1.2 Almidón de Banano16
  - 1.2.1 Generalidades16
- 1.3 Propiedades funcionales del almidón de banano19
  - 1.3.1 Poder de hinchamiento19
  - 1.3.2 Índice de absorción de agua20
  - 1.3.3 Índice de solubilidad de agua20
  - 1.3.4 Capacidad de absorción de aceite21
  - 1.3.5 Sinéresis21
  - 1.3.6 Temperatura de gelatinización21
- 1.4 Métodos de modificación de almidones22
  - 1.4.1 Modificación Química22
  - 1.4.2 Propiedades de los Almidones Acetilados23

CAPÍTULO II24

METODOLOGÍA24

- 2.1 Obtención y modificación química del almidón de banano24
  - 2.1.1 Diseño Experimental24
  - 2.1.2 Extracción del almidón25
  - 2.1.3 Acetilación del almidón26
  - 2.1.4

**01** [www.redalyc.org](https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf) | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (Dio...

Determinación de grupos acetilo (Ac) y grado de sustitución (GS)

- 27
- 2.2 Determinación de la Composición Proximal27
- 2.3 Determinación

**02** [bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1666/1/CD-2258.pdf)

de las propiedades funcionales del almidón28

- 2.3.1 Determinación

**03** [doi.org](https://doi.org/10.24188/recea.v9.n5.2017.523) | Buenas prácticas ganaderas en hatos lecheros de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia

Índice de absorción de agua (IAA), índice

**04** [www.redalyc.org](https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf) | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (Dio...

de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

- 28
- 2.3.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc)28
- 2.3.3 Sinéresis29
- 2.4 Determinación de la Densidad aparente29
- CAPÍTULO III30
- RESULTADOS Y DISCUSIÓN30
- 3.1 Rendimiento de la extracción del almidón30
- 3.2 Efecto de las condiciones de reacción en la modificación de almidón de banano Cavendish30
  - 3.2.1 Valoración del grado de modificación de porcentajes de acetilo y grado de sustitución30
  - 3.2.2
  - 3.2.3
- 3.3 Valoración de la Composición Proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.32
  - 3.3.1

**05** [revistas.utb.edu.ec](https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/download/2965/2621)

Composición proximal del almidón nativo y acetilado32

- 3.4 Valoración de las propiedades funcionales de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.36
  - 3.4.1 Propiedades funcionales del almidón36
  - 3.4.2 Capacidad de Retención de Aceite38
  - 3.4.3 Sinéresis40
- 3.5 Impacto de la temperatura de reacción sobre las propiedades físicas de los almidones obtenidos por acetilación41
  - 3.5.1 Densidad Aparente41
- CONCLUSIONES43
- RECOMENDACIONES44
- BIBLIOGRAFÍA45
- ANEXOS53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del banano .....	13
Tabla 2. Características del banano Cavendish .....	14
Tabla 3. Rendimiento de la extracción de almidón de banano Cavendish.....	29
Tabla 4. Porcentaje de acetilo y Grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción.....	30
Tabla 5. Composición proximal del almidón nativo y acetilado a diferentes temperaturas de reacción.....	31
Tabla 6. Capacidad de retención de aceite.....	38
Tabla 7. Densidad Aparente de los almidones acetilados.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de Maduración de Von Loesecke .....	15
Figura 2. Estructura del almidón .....	16
Figura 3. Estructura química de la amilosa .....	17
Figura 4. Estructura química de la amilopectina .....	18
Figura 5. Imágenes SEM de almidones nativos de banano, árbol del pan y arrurruz (aumento de 1000x) .....	15
Figura 6. Principio básico de la reacción de acetilación mediante la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón por grupos acetilo .....	23
Figura 7. Diagrama de flujo de la extracción de almidón .....	24
Figura 8.	



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

### Media de Fisher LDS del Porcentaje de Acetilo y Grado de sustitución

a diferentes temperaturas de reacción .....	31
Figura 9. Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de Fibra, Carbohidratos y Ceniza.....	33
Figura 10. Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de lípidos, proteínas y humedad.....	35
Figura 11. Influencia de la temperatura sobre el Poder de Hinchamiento (PHi),	



doi.org | Buenas prácticas ganaderas en hatos lecheros de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia

<https://doi.org/10.24188/reclia.v9.n5.2017.523>

### Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA)

.....	36
Figura 12. Impacto de la temperatura de reacción en la capacidad de retención de aceite (CRAC) .....	38
Figura 13. Influencia de la temperatura de reacción en la Sinéresis de los almidones según los días de almacenamiento .....	39
Figura 14. Influencia de la temperatura de reacción en la Densidad Aparente de los almidones.....	41

## INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los productos agrícolas de mayor exportación en el Ecuador, siendo que según la FAO (2023), se registró un total de exportaciones de aproximadamente 7,1 millones de toneladas, sin embargo aproximadamente el 10 % es rechazado al no cumplir con los requisitos de calidad necesarios para su exportación como forma, tamaño y apariencia, y es por tanto que se han venido buscando nuevas alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de esta fruta generados en el sector bananero con el fin de brindar valor agregado (Amaya, 2019).

El banano de la variedad (Musa spp. AAA subgrupo Cavendish) es una fruta ampliamente comercializada en la provincia de El Oro, Ecuador. En su estado maduro es rico en hidratos de carbono, minerales, fibra y vitaminas, mientras que en su estado inmaduro en su composición interna presenta un alto contenido de almidón, este cuenta con cantidades elevadas de fibra (Salazar et al., 2022).

El almidón es un polisacárido de  $\alpha$ -glucosa unida por cadenas simples lineales  $\alpha$ -(1-4) y enlaces  $\alpha$ -(1-6) en los puntos ramificados, principalmente en la amilopectina, aunque algunos  $\alpha$ -(1-6) están presentes en el componente esencialmente lineal, que es la amilosa, la forma del gránulo de almidón dependerá de su fuente botánica siendo que para el caso del almidón de banano este es irregular, alargado y de forma redonda/esferoidal (Moreno et al., 2024).

Sin embargo, el almidón nativo no es tan resistente a la exposición de altas temperaturas o cambios bruscos de pH para ampliar sus aplicaciones tecnológicas, por tanto, realizar una modificación química genera en el almidón mayor resistencia y estabilidad a diversas condiciones como variaciones de temperaturas (Aguilar, 2021). Según Cedeño et al., (2021)



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

### el volumen de anhídrido acético y el tiempo de reacción



repositorio.utmachala.edu.ec

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del articulo-2266-1-10-20210630.pdf>

afectan significativamente el porcentaje de grupos acetilo y su grado de sustitución, mostrando mayor poder de hinchamiento, solubilidad en agua e índice de absorción de agua que el almidón nativo de banano.

Por lo mencionado anteriormente el presente trabajo de investigación tiene como objetivo brindar información acerca de cómo la variación de temperatura como condición de reacción puede influenciar en las propiedades fisicoquímicas de los almidones acetilados.

## PROBLEMÁTICA

Los almidones nativos son aquellos que no han sufrido alguna modificación o tratamiento químico, es totalmente digerible por



repositorio.upec.edu.ec

<https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c2b0050-c7ff-45ee-bae4-df4228874071/content>

### el ser humano y constituye la reserva energética de los vegetales y tubérculos

compuestos por amilosa y amilopectina que son las que le confieren sus propiedades funcionales (Paz, 2024), sin embargo este polisacárido expone diversas debilidades como su facilidad para retro degradarse, alta viscosidad, escasa estabilidad térmica, limitada resistencia a la congelación y descongelación, baja tolerancia a su procesamiento y la opacidad del gel, todas estas características limitan la aplicación del almidón tanto en la industria alimentaria como en otras industrias (López et al., 2024).

Otros de los factores que limitan la aplicación comercial del almidón nativo son su hidrofiliidad, limitadas propiedades térmicas y mecánicas, rápida degradabilidad y enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares resistentes de las cadenas del almidón (Cedeño et al., 2023).

Por tanto, la modificación del almidón puede resultar una alternativa eficaz para alterar las características del almidón nativo con el fin de mejorar sus propiedades como la retención de agua, aceite, sinéresis, propiedades funcionales y características termodinámicas, existen diversas formas para modificar el almidón como los métodos físicos, químicos y enzimáticos, siendo la modificación química por acetilación la más empleada (Sindhu et al., 2021).



## JUSTIFICACIÓN

La modificación química es una de las más se empleadas para la modificación del almidón nativo ya que contribuye en la mejora de varias de sus propiedades como la estabilidad molecular, resistencia contra el cizallamiento, viscosidad y tasa de retrogradación, dentro de los tipos de modificación química que existen encontramos la hidrólisis ácida, la reticulación, el injerto de almidón, la modificación dual, la oxidación y la acetilación/esterificación, de las cuales la acetilación es el mayormente empleado para la estabilización del almidón, donde por medio de la esterificación del almidón nativo con anhídrido acético, vinil acetato o ácido acético se obtiene acetato de almidón, dicho método consiste en la sustitución de los grupos hidroxilo de las cadenas principales del almidón con grupos acetilo, que consecuentemente forman enlaces covalentes en lugar de enlaces de hidrógeno, lo que se traduce en un incremento en la hidrofobicidad y una textura más dura en comparación con el almidón nativo (Navarrete et al., 2023).

En la acetilación el número de grupos acetilos que se podrán integrar en la molécula dependerá de diversos factores como



[dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec)

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16739/1/96T00666.pdf>

el origen botánico del almidón, concentración y naturaleza del reactivo, tiempo de reacción, pH y del catalizador presente en la reacción, este tipo de modificación alteran significativamente las propiedades del almidón siendo que disminuyen la temperatura de gelatinización y mejoran la estabilidad térmica sin embargo estas propiedades se encuentran estrechamente vinculadas con el número de grupos acetilos presente en la molécula del almidón (Túquerres, 2021).

Otras ventajas de este proceso de acetilación incluyen el incremento de la capacidad de hinchamiento, la capacidad de absorción de agua, las propiedades de pegado, y aumentó considerablemente de la solubilidad del almidón nativo, además de que los almidones acetilados presentan una mayor estabilidad a la retrogradación y al proceso de congelación-descongelación en comparación con el almidón nativo (Marta et al., 2022).

## OBJETIVOS

Objetivo General:

Estudiar las condiciones de modificación por acetilación del almidón de Banano variedad (Musa spp. AAA subgrupo Cavendish.) y sus efectos en sus propiedades fisicoquímicas.

Objetivos Específicos:

Evaluar el rendimiento de obtención del almidón de Banano variedad (Musa spp. AAA subgrupo Cavendish.) mediante molienda Húmeda.

Identificar el efecto del incremento de temperatura en las condiciones de obtención de almidones acetilados.

Valorar la composición proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas de reacción.

Determinar el comportamiento de sus propiedades funcionales y densidad aparente de los almidones obtenidos por acetilación.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Banano

##### 1.1.1 Generalidades

El banano es una fruta tropical conocida a nivel mundial con distintos nombres, esta se originó en el Sudeste asiático, en distintas regiones de la India, es originario de una planta herbácea, perteneciente a las plantas monocotiledóneas y a la familia de las musáceas, el peso aproximado del banano va de 100 a 200 gramos, contiene una piel carnosa y gruesa de un tono amarillo mientras que su pulpa se identifica por su coloración blanca o de un tono amarillo pálido (Armijos et al., 2023).

Tabla 1

Clasificación taxonómica del banano

Taxonomía del banano

Reino Plantae

División Magnoliophyta

Clase Liliopsida

Orden Zingiberales

Familia Musaceae

Género Musa

Especie *M. paradisiaca*

Fuente: (Ricardo, 2022)

El banano se divide en distintas especies, unas utilizadas para el consumo humano y otras utilizadas para alimentación de ganadería,



[repositorio.utmachala.edu.ec](https://repositorio.utmachala.edu.ec)

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15199/1/T-3225\\_MEZA LEON MAYRA ANDREINA.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15199/1/T-3225_MEZA LEON MAYRA ANDREINA.pdf)

mientras que, existen otras variedades que son frutas más carnosas, el cual, en estas se encuentran varios grupos de diploides (AA y AB) y triploide (AA, AAB y ABB), en el grupo triploide AAA se encuentra el

subgrupo Gran Cavendish, que es la variedad más exportada en el Ecuador (Martins et al., 2022).

El banano tiene diferentes



[repositorio.utmachala.edu.ec](https://repositorio.utmachala.edu.ec)

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15199/1/T-3225\\_MEZA LEON MAYRA ANDREINA.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15199/1/T-3225_MEZA LEON MAYRA ANDREINA.pdf)

variedades de cultivo con el género Musa que tiene como subgrupo al Cavendish, en la producción mundial está representando un 43 % y 57 % para consumo alimenticio, la altura de esta variedad de banano es aproximadamente

entre 2,8 metros a 3 metros, siendo la planta más vigorosa y alta lo que genera un buen tamaño del fruto, se caracteriza por su pseudotallo alto, hojas anchas y frutos medianos de excelente calidad, el cultivo desde su crecimiento es resistente a la raza 1 del hongo *Fusarium oxysporum* que es tolerante al viento y a la sequía, por otro lado la pulpa tiene más propiedades químicamente hablando, se destaca la concentración del potencial de hidrógeno, acidez titulable, sólidos solubles que son los grados Brix y composición nutricional (Barrezueta et al., 2024).

Tabla 2

## Características del banano Cavendish

Variedad Banano Cavendish

Clase "A" Premium Class

Tamaño de los dedos 18 cm mínimo

Calibre Mínimo 39 mm, máximo 46 mm

Cluster Mínimo 3 dedos, máximo 7 dedos

Edad de la fruta Mínimo 10 semanas, máximo 12 semanas

Fuente: (Padilla, 2021)

### 1.1.2 Composición Nutricional

La composición química del banano depende de diversos factores como la variedad, estado de madurez y condiciones ambientales en las que se encuentre, el principal constituyente del banano verde o en estado de inmadurez es el almidón, sin embargo también es una fuente de proteína, lípidos, fibra y sustancias antioxidantes, como los polifenoles, por otro lado el contenido de pulpa del banano representa aproximadamente el 60% del peso total de la fruta mientras que la cáscara constituye el 40% restante y contiene una cantidad considerable de fibra además de almidón, proteína cruda, ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos esenciales y micronutrientes (Raza, 2019).

### 1.1.3 Escala de Maduración del Banano

El banano durante el proceso de maduración sufre de distintos cambios que incluyen la conversión de almidón a azúcares en la pulpa, degradación enzimática de carbohidratos estructurales, degradación de clorofila y polifenoles, biosíntesis de sustancias aromáticas y carotenoides, además de un aumento en el contenido de aminoácidos, ácidos orgánicos y dopamina, los cuales influyen de manera directa en la calidad de la fruta en atributos como el color, la textura, el sabor, el aroma y los metabolitos secundarios (Liu et al., 2021). Además, el proceso de maduración del banano se encuentra estrechamente ligado a una variación de color que va de verde a amarillo, siendo el desvanecimiento del color verde el principal indicador del comienzo de la maduración de esta fruta el cual se da por la degradación de las clorofilas, una de las causas principales de esta degradación se deben a las variaciones de pH mismas que se dan como consecuencia de la filtración de los ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, además, el aumento de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas contribuyen de igual manera a las variaciones de pH (Pisco y Vladimir, 2024).

Figura 1

Escala de Maduración de Von Loesecke

□

Fuente: (Franco et al., 2023)

## 1.2 Almidón de Banano

### 1.2.1 Generalidades

El almidón de banano es un carbohidrato cuya concentración varía de acuerdo con el estado de madurez de dicha fruta siendo que en estado verde o inmaduro este constituye la mayor parte de hidratos de carbono sin embargo conforme la fruta se va madurando el polisacárido es hidrolizado por efecto de las amilasas y por medio de otros sistemas enzimáticos es sintetizada la sacarosa y fructosa que son características en el banano maduro (Rosero y Villa, 2021).

Las fracciones de almidón se pueden clasificar en tres categorías distintas que son almidón de digestión rápida (RDS; fracción digerida en 20 min), almidón de digestión lenta (SDS; fracción digerida entre 20 y 120 min) y almidón resistente (RS; fracción no digerida después de 120 min), dependiendo de sus tasas de digestión (Qiao et al., 2024).

Figura 2

Estructura del almidón

□

Fuente: (Alegría y Ferrera, 2022)

La amilosa es un polímero conformado por monómeros de glucosa ligados únicamente por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4, con un peso molecular aproximado entre 105 – 106 Da, presenta una estructura helicoidal la cual en el interior contiene átomos de hidrógeno mismos que le confieren propiedades hidrofóbicas, en tanto que los grupos hidroxilos permanecen en el exterior, por otro lado es el principal responsable de la retrogradación y viscosidad del almidón y es capaz de formar complejos tanto con ácidos grasos libres como con componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y ciertos alcoholes (Pérez, 2022).

Además, cabe mencionar que la amilosa también facilita la formación de redes tridimensionales comúnmente conocidas como geles, por lo tanto, un contenido elevado de amilosa forma geles resistentes, que al lixiviar por el proceso de gelatinización ocasiona la disrupción de la estructura del gránulo (Martínez et al., 2022).

Figura 3

Estructura química de la amilosa

□

Fuente: (Delgado, 2024)

La amilopectina es una molécula ramificada con puntos de ramificación unidos por enlaces  $\alpha$ (1-6) y regiones lineales de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ (1-4), en el almidón, la amilopectina es el componente principal y constituye la región cristalina del granulo, el grado de polimerización de las cadenas de amilopectina se encuentran relacionadas con las características fisicoquímicas, como la tendencia a retrogradar, la temperatura y la entalpía de gelatinización (Méndez et al., 2022).

Las cadenas de la amilopectina se hallan dispuestas de forma radial en el interior del gránulo del almidón

14

[www.redalyc.org](https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/) | Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética

<https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

con sus extremos terminales no reductoras orientadas hacia la superficie, con alternancia de zonas cristalinas

15

[dSPACE.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec)

<http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21824/1/96T00964.pdf>

(doble hélice) y zonas amorfas (puntos de

ramificación), además la amilopectina posee de 10 a 60 unidades de glucosa y en las cadenas laterales de

16

[www.redalyc.org](https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/) | Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética

<https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

15 a 45 unidades de glucosa con un promedio de 5

% de los enlaces  $\alpha$  (1-6) en puntos ramificados (Pérez, 2022).

Figura 4

Estructura química de la amilopectina

□

Fuente: (Delgado, 2024)

Es utilizado en diferentes industrias debido a sus propiedades y estructura de fibras celulósicas, en la industria alimentaria es mayormente usado como espesante, estabilizante y gelificante también es usado en la elaboración de recubrimientos ya que ayuda en la mejora de la tensión a la fractura, la flexibilidad y reduce la permeabilidad en frutas y vegetales (Hipo, 2023).

El almidón nativo se produce en partículas diminutas y discretas denominadas «gránulos» con un diámetro aproximado de 1 a 100  $\mu$ m, dependiendo de la fuente vegetal, así también los

gránulos de almidón presentan diferencias en términos de propiedades morfológicas, composición química, ubicación e interacciones con componentes no amiláceos cuando se obtienen de diferentes fuentes, por otro lado además del almidón como componente principal (98 - 99 %), los gránulos de almidón también contienen una pequeña cantidad de proteínas, lípidos, pentosanos y minerales (Majzoobi y Farahnaky, 2021).

Los gránulos de almidón de banano generalmente son irregulares, alargados y de forma redonda/esferoidal, las diferencias que existen en la forma de las partículas de los almidones de diferentes variedades de plátano son atribuidas a la genética y las condiciones de crecimiento (Marta et al., 2022).

En la figura 2 se puede observar que el tamaño de los gránulos de almidón de banano es mayor que el de los almidones de fruta pan (<10 µm) y sorgo (4–35 µm).

Figura 5

Imágenes SEM de almidones nativos de banano, árbol del pan y arrurruz (aumento de 1000×).

□

Fuente: (Marta et al., 2022)

1.3 Propiedades funcionales del almidón de banano

Dentro de las propiedades funcionales de los almidones encontramos principalmente

17

repositorio.utmachala.edu.ec

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf>

la solubilidad, la absorción de agua y el poder de hinchamiento

estas determinan la proporción de almidón seco disuelto en agua para el caso de la solubilidad mientras que la absorción de agua nos indica el volumen de agua que es capaz de absorber el almidón por gramo

18

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

de material seco en presencia de un exceso de agua, por último el poder de hinchamiento refleja el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón al ser sometidos a

un proceso de calentamiento (Contreras et al., 2018).

Las propiedades funcionales del almidón pueden verse afectadas significativamente debido a factores como la cantidad de amilosa, la distribución de las cadenas ramificadas en la amilopectina, la arquitectura granular, la cantidad de fosfolípidos, fosfato-monoéster y lípidos (Bashir y Aggarwal, 2019).

1.3.1 Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento en el almidón es proporcional a la magnitud de la fuerza de interacción entre las moléculas de almidón y las moléculas de agua, esta propiedad exhibe el grado de unión de los enlaces internos de las partículas de los gránulos de almidón, indicando la capacidad que tienen los gránulos de almidón de ligar agua, siendo así que la región amorfa es la que se hincha primero, indicando así su calidad y afectaciones directamente a la gelatinización (Mutis, 2019).

Esta propiedad se puede ver afectada por tratamientos térmicos, dado que cuando las suspensiones de almidón se someten a temperaturas elevadas provoca que las dobles hélices de la amilopectina en el gránulo se desmonten lo que hace que se hinchen más rápido, sin embargo, el contenido de amilosa dentro del gránulo de almidón puede reducir el poder de hinchamiento (Aidoo et al, 2022).

1.3.2 Índice de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua (IAA) es un indicador de la cantidad máxima de agua que un almidón puede absorber o retener, este dato puede verse variado por distintos factores como el momento de cosecha, de la materia prima, la fuente botánica o la ubicación geográfica, por otro lado una elevada capacidad de absorción de agua en el almidón nativo y acetilado nos indica que el polímero del almidón presenta una estructura más suelta mientras que una menor capacidad de absorción de agua indica por el contrario una estructura más compacta del polímero del almidón (Aidoo et al., 2022).

Además, la capacidad de absorción de agua del almidón se puede ver afectada por la temperatura siendo que un incremento de temperatura provoca un aumento de la misma debido a que se da un desdoblamiento de las regiones con doble hélice del almidón lo que consecuentemente afecta la estructura de la amilopectina, y destruye las fuerzas internas granulares en la región amorfa (Vergara y Melina, 2023).

1.3.3 Índice de solubilidad de agua

La solubilidad nos indica una alta concentración de un soluto que puede disolverse en un disolvente específico, a una temperatura especificada, el índice de solubilidad en agua también conocido por sus abreviaturas (ISA) constantemente para las investigaciones este se usa como detector

19

www.scielo.org.pe | Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de...

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000300381&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000300381&script=sci_arttext)

de degradación de componentes moleculares del almidón, el ISA continuamente mide la cantidad de componentes solubles

libres del almidón posterior a un cambio de temperatura mayor, dando a entender que implica el grado de gelatinización del mismo, así se puede medir el grado de conversión de almidón durante el cambio a distintas temperatura, que corresponden a la cantidad de polisacáridos solubles liberados del gránulo de almidón (Huamani et al., 2020).

1.3.4 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite (OAC) es la unión de la grasa por medio de la cadena lateral no polar de las proteínas, esta propiedad es un parámetro muy importante para determinar la capacidad de retención de sabor de las harinas y almidones, se puede ver afectada por la diferencia en los componentes hidrófilos siendo que cuanto mayor sea el contenido de componentes hidrófilos (carbohidratos y proteínas), menor será la capacidad de absorción de aceite, y viceversa (Aidoo et al., 2022).

1.3.5 Sinéresis

La sinéresis conocida como retrogradación es un cambio físico o coloidal que se da por la cristalización de los polímeros generando una asociación de tipo cristalino en la amilosa lo que se traduce en pérdida de agua desde la superficie de los compuestos del almidón, este fenómeno ocurre principalmente en los geles de almidón cuando se someten a procesos de congelación/descongelación, la sinéresis es descrita también como el comportamiento de recrystalización de los almidones que son gelatinizados durante enfriamiento y almacenamiento, proceso que incluye el endurecimiento y posterior filtración de agua del gel del almidón (Ramírez, 2023).

1.3.6 Temperatura de gelatinización

20

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

La gelatinización es un proceso en el cual el almidón

es calentado a temperaturas elevadas en exceso de agua lo que provoca la lixiviación de la amilosa y el hinchamiento del gránulo dando como consecuencia la desaparición de la estructura cristalina de doble hélice y la pérdida de birrefringencia, sin embargo hay que tener en cuenta que la temperatura a la que se da la gelatinización puede variar dependiendo de varios factores como la variedad del banano en el caso del almidón de banano (Fonseca et al., 2021). La temperatura de gelatinización es la temperatura a la que tiene lugar la gelatinización del almidón se encuentra comúnmente en rangos de temperaturas de entre 55 y 80 °C dependiendo de la variedad de almidón y también de si se encuentra en su estado nativo o si fue modificado, ya que el almidón al ser modificado suele presentar temperaturas menores de gelatinización esto debido a que ocurre una fragmentación en la estructura del gránulo de almidón debida a la incorporación de los grupos acetilo en su molécula (Vergara et al., 2023).

1.4 Métodos de modificación de almidones

La modificación del almidón se puede dar de distintas maneras las cuales pueden ser químicas, físicas, enzimáticas o por una combinación de las mismas las cuales mejoran las aplicaciones del almidón a nivel comercial causando cambios en su estructura, las modificaciones físicas son comúnmente efectuadas mediante tratamientos térmicos como baños de agua caliente, uso de vapor, tratamientos empleando ozono, irradiaciones y con microondas, por otro lado, los almidones modificados enzimáticamente puede cambiar la estructura molecular del almidón, reduciendo la capacidad de retención de agua e higroscopicidad en el almidón y presentando un mejor comportamiento en tratamientos térmicos (Hernández, 2021). En la modificación física del almidón no se ve afectada la estructura química del almidón sin embargo en el caso de la modificación química hay una introducción de un grupo funcional en los gránulos de almidón, estos almidones modificados son utilizados ampliamente en varias industrias, como la alimentaria, farmacéutica, papelera y textil (Sinhmar et al., 2023).

1.4.1 Modificación Química

21

repositorio.uas.edu.mx

[http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/bitstream/DGB\\_UAS/728/1/Tesis - Carrillo Cañedo, Karen Itzel.pdf](http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/bitstream/DGB_UAS/728/1/Tesis - Carrillo Cañedo, Karen Itzel.pdf)

La modificación química del almidón está

relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero

del almidón, esta técnica química es una de las más empleadas e implica la inclusión de un grupo funcional que mejora aún más las propiedades intrínsecas, de pegado y reológicas de los almidones, algunos tipos de modificaciones químicas son las reacciones vía éter, formación de ésteres, oxidación, acetilación y las hidrólisis de los grupos hidroxilos (Nwakego et al., 2022).

La acetilación es un proceso de esterificación indirecta, por lo que es necesario agregar un catalizador para que la reacción tenga lugar, el principio básico de esta reacción es la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón con grupos acetilo como se muestra en la figura 1, cuanto más grupo hidroxilo libres se sustituyan con grupos acetilo, mayor será el grado de sustitución (Subroto et al., 2023). En este proceso tanto

la cantidad de grupos acetilo añadidos a la molécula como la velocidad y eficiencia de la reacción, se encuentran influenciados por diferentes factores como la concentración y tipo del reactivo, el pH, la temperatura, el método de extracción de almidón y las características de

la estructura del gránulo nativo (Ventura et al., 2024).

Los almidones acetilados exhiben propiedades funcionales mejoradas en comparación con el almidón nativo, como baja temperatura de gelatinización, alta solubilidad, estabilidad a la congelación y descongelación y estabilidad al almacenamiento, dentro de los principales reactivos utilizados para la acetilación del almidón se encuentran el ácido acético, anhídrido acético, acetato de vinilo o una combinación (Kaushik et al., 2024). El grado de sustitución

indica el promedio del número de sustituciones por unidad de anhidroglucosa en el almidón

y se encuentra relacionado con la modificación química, el mayor grado de sustitución que puede haber es de 3 debido a que se exhiben tres grupos hidroxilos disponibles por unidad de anhidroglucosa (Carrillo, 2024).

Figura 6

Principio básico de la reacción de acetilación mediante la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón por grupos acetilo

□ Insertando imagen...

Fuente: (Subroto et al., 2023)

#### 1.4.2 Propiedades de los Almidones Acetilados

Los almidones acetilados exhiben un sin número de propiedades que los hacen atractivos para su aplicación industrial siendo una de sus características principales su poder para iniciar el proceso de gelatinización a temperaturas relativamente más bajas en contraste con el almidón nativo, otra propiedad destacada de estos almidones es su baja tendencia a la retrogradación durante el enfriamiento (Carrillo, 2024).

Las funciones que presenta el almidón acetilado van a depender del grado de sustitución siendo así que valores bajos de grado de sustitución (0,01-0,2) se traducen en un incremento en el poder espesante del almidón acetilado y una mayor estabilidad a temperaturas inferiores además cabe mencionar que la acetilación de los almidones mejora las propiedades funcionales del almidón nativo como su capacidad de absorción de agua, solubilidad del almidón y poder de hinchamiento (Liu et al., 2022).

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Obtención y modificación química del almidón de banano

##### 2.1.1 Diseño Experimental

El presente trabajo de investigación es de carácter experimental. Se extrae el almidón de banano mediante molienda húmedo donde se aplicaron 5 tratamientos en la cual se evaluaron el rendimiento de la extracción con su desviación estándar y correspondiente coeficiente de variación; para la modificación por acetilación se valoró el efecto del incremento de las temperaturas de reacción en el grado de modificación, composición proximal y sus propiedades físicas, funcionales y térmicas a través de un ANOVA de un solo factor.

##### 2.1.2 Extracción del almidón

Los bananos (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish) fueron adquiridos directamente de las haciendas productoras de la parroquia La Iberia, cantón El Guabo de la provincia de El Oro, en estado verde o con un índice de madurez 1

de acuerdo con la escala de maduración de Von Loesecke. La extracción del almidón se basa en Dávila, (2014) para el cual se retira la cáscara de los bananos, se cortan en trozos de 2 - 3 cm de largo los cuales se sumergieron en una disolución de con ácido cítrico al 1 % (p/v) en relación 1:4, haciendo uso de una licuadora casera de marca Oster a máxima velocidad de 3600 min-1 durante 4 minutos. Posteriormente la torta se filtró en un lienzo y se lavó con 400 mL de agua destilada por 5 veces y se dejó sedimentar. Fue secado a 60 °C durante 24 horas, se sometió a molienda fina de mantener la granulometría uniforme se hizo pasar por tamiz malla 250 µm y finalmente se almacenó en frascos de color ámbar.

Figura 7

Diagrama de flujo de la extracción de almidón

□

##### 2.1.3 Acetilación del almidón

El proceso de modificación del almidón fue realizado utilizando la metodología descrita por Salcedo-Mendoza et al., (2016); con algunas modificaciones, para ello se pesaron 30 gramos los cuales se disolvieron en 100 mL de agua destilada, agitando durante 30 minutos. Posteriormente se añadieron 5 mL de anhídrido

acético gota a gota a la suspensión agitada, manteniendo el pH dentro del intervalo

de 8 a 8,4 usando una solución de NaOH al 3 % (p/v), esta reacción se mantuvo por 30 minutos a temperaturas de 30, 40 y 50 °C. Una vez culminado

el tiempo de reacción, la suspensión se ajusta a un pH de 4,5 usando HCl 0,5 N. El almidón obtenido fue lavado dos veces con agua destilada y centrifugado

en una centrífuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) a 5000 rpm por 10 minutos, después se realiza un tercer lavado con etanol al 96 % (p/v). Posteriormente, el almidón es secado en un horno a 70 °C durante 24 horas, se pasa a molienda y tamizado con un tamiz malla de 250 µm.

2.1.4



**www.redalyc.org** | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (...)  
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf>

Determinación de grupos acetilo (Ac) y grado de sustitución (GS)

La determinación d



**bibliotecavirtual.dgb.umich.mx** | Desarrollo de una película a partir de almidón acetilado de camote morado como potencial alternativa en el desarrollo de biopelícula...  
[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/6401](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6401)

el porcentaje de grupos acetilo y el grado de sustitución

se realizó empleando el método descrito por Salcedo-Mendoza et al. (2016). Para el cálculo del porcentaje de los grupos acetilo se pesaron 1 gramo de almidón modificado en base seca que fue transferido a un matraz Erlenmeyer de 250 mL en el que se le



**www.redalyc.org** | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (...)  
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf>

agregaron 50 mL de agua destilada y dos gotas de

fenoltaleína. Se neutralizó la muestra utilizando NaOH al 0,1 N, posteriormente se agregaron 25 mL de NaOH a 0,45N agitando la muestra por 30 minutos.



**www.redalyc.org** | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (...)  
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf>

Las muestras saponificadas fueron tituladas con HCl 0,8 N utilizando fenoltaleína como indicador, valorando de manera conjunta un blanco de almidón nativo. El porcentaje de grupos acetilos



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14181/1/T-2900\\_HURTADO\\_JIMENEZ\\_JHANELA\\_ELIZABETH.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14181/1/T-2900_HURTADO_JIMENEZ_JHANELA_ELIZABETH.pdf)

(Ac%) sustituidos, se calculó basado en el volumen del ácido consumido como se muestra en la

Ec. (1).  
(ec 1)  
donde:  
0,043 = corresponde a los miliequivalentes del grupo acetilo.  
HCl = Ácido clorhídrico  
El grado de sustitución (GS) es el número promedio de grupos acetilos introducidos por unidad de anhidroglucosa y fue determinado mediante la ecuación 2 (ec 2)  
(ec2)  
dónde 162 corresponde a la masa molar de la unidad anhídrido glucosa.

2.2 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 DHUMAS para el cálculo del porcentaje de proteínas, 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 y por último para la valoración del carbohidrato se delimitó a través de una operación matemática por diferencia de componentes

2.3 Determinación



| Elaboración de un suplemento alimenticio en polvo para consumo humano a partir de una mezcla de hidrolizado de soya y almidón de maíz  
[nvar/dspace/bitstream/15000/1666/6/CD-2258.pdf.txt](http://nvar/dspace/bitstream/15000/1666/6/CD-2258.pdf.txt)

de las propiedades funcionales del almidón

2.3.1 Determinación



**doi.org** | Buenas prácticas ganaderas en hatos lecheros de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia  
<https://doi.org/10.24188/recia.v9.n5.2017.523>

índice de absorción de agua (IAA), índice



**www.redalyc.org** | EFECTO DE LA ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE ALMIDONES DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y ÑAME (...)  
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168010.pdf>

de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

La determinación de IAA, ISA y PH se realizó mediante la metodología propuesta por Salcedo-Mendoza et al. (2016) con ligeras modificaciones, se pesó 1 gramo de almidón



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509\\_ESPINOZA\\_ENRIQUEZ\\_ANTHONY\\_EMANUEL.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509_ESPINOZA_ENRIQUEZ_ANTHONY_EMANUEL.pdf)

en base seca y se depositó en un tubo de centrífuga

al cual se adicionaron 25 mL de agua destilada, seguido se colocó la suspensión en un baño maría a temperaturas de 50, 60, 70, 80 y 90°C durante 30 minutos, transcurridos 10 minutos de iniciado el calentamiento se agitó la muestra manualmente. Finalizado el tiempo la muestra fue llevada a una centrífuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) a 4900 rpm durante 30 minutos. Seguidamente,



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf>

se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). Posteriormente

se tomó una muestra de 10 mL del sobrenadante y se depositó en una caja Petri previamente pesada y se llevó a secado en un horno a 70 °C por 16 h.



**dialnet.unirioja.es**  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf>

Por último,



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf>

se registró el peso de la caja de Petri con el material soluble y del tubo de centrífuga que contenía el gel (almidón insoluble) y se estimaron los valores de IAA, ISA y PH empleando las Ec. (3), (4) y (5), respectivamente.

(ec3)

(ec4)

(ec5)

2.3.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc)

Manifiesta la máxima cantidad de retención de aceite en mL por un gramo de muestra (mL/g). La estimación de la capacidad de retención de aceite del almidón se realizará usando el método propuesto por Montoya, (2021) con leves modificaciones. Se pesa 1 gramo de almidón en base seca y se deposita en un tubo de centrífuga previamente pesado, se adicionan 10

ml de aceite de girasol, posteriormente se pasa a un proceso de agitación por 30 minutos y seguido se lleva a una centrífuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) por 30 minutos a 4800 rpm. Finalmente, se mide el volumen del sobrenadante. El cálculo de la capacidad de retención de aceite se lo realiza utilizando la siguiente ecuación:

( ec 6 )

### 2.3.3 Sinéresis

Para el cálculo de la sinéresis de los almidones se utilizó la metodología descrita por Martínez et al. (2015) con ligeras modificaciones, se preparó suspensiones de agua destilado con almidón al 2 % en base seca en tubos de centrífuga luego estas suspensiones fueron llevadas a baño maría a 85 °C por 30 minutos en la plancha térmica (Faithful, Huanghua, República Popular China), terminado el tiempo se bajó la temperatura hasta los 25 °C. Posteriormente se almacenaron las muestras por 7 días a 4 °C y se centrifugaron a 3500 rpm por 15 min en una centrífuga marca LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos), finalmente se pesó el sobrenadante y se calculó el porcentaje de sinéresis de los días 1, 2, 3, 5 y 7 mediante la ecuación 8.

(ec 7)

### 2.4 Determinación de la Densidad aparente

La densidad aparente se determina aplicando la metodología propuesta por Sánchez et al., (2020), la muestra de almidón es depositada en una probeta graduada previamente lavada y secada, hasta el volumen total dando ligeros golpes para compactar bien la muestra, posteriormente se registra el peso total y se estima el valor de a densidad aparente utilizando la posterior ecuación:

( ec 8)

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Rendimiento de la extracción del almidón

Tabla 3

Rendimiento de la extracción de almidón de banano Cavendish

Extracción Peso de la pulpa de banano(g) Peso del almidón seco(g) % Rendimiento

1 453,592 38,864 11,963

2 453,592 47,263 10,419

3 453,592 38,084 8,396

4 453,592 48,001 10,582

5 453,592 36,751 8,102

6 453,592 38,864 8,568

9,671 1,545 CV= 15,97%

El rendimiento obtenido del almidón de banano Cavendish fue de 9,671 1,545 % como se registra en la Tabla 3; de resultados que difieren con Vergara et al., (2023) cuyo rendimiento fue del 31,12 ± 0,48 % ; de igual manera Pérez, (2022) registra valores de rendimiento de 15.944 ± 1,993% y 16.9504 ± 2,119 % en Banana roja y Banana baby respectivamente, valores distintos a los obtenidos por Pescoran, (2018) con la variedad de plátano bellaco (Musa paradisiaca L.) en donde con una concentración de 5% de bisulfito de sodio obtuvo un rendimiento de 0,94 % mientras que con 10 % de concentración de bisulfito resultó en 0,99% de rendimiento, mediante estos resultados se puede decir que el porcentaje de rendimiento depende de la variedad de banano, época del año en que se cosecha, método de extracción, tiempo y revolución del licuado que se aplica y concentración de antioxidante.

#### 3.2 Efecto de las condiciones de reacción en la modificación de almidón de banano Cavendish

##### 3.2.1 Valoración del grado de modificación de porcentajes de acetilo y grado de sustitución

En la tabla 4 se evidencia el porcentaje de grupo acetilo y grado de sustitución del almidón acetilado a diferentes temperaturas de reacción (30, 40 y 50 °C), siendo que estas condiciones afectan sus valores aumentando conforme al ascenso de la temperatura; Rahim et al., (2017) propone que la acetilación se realiza comúnmente entre 25 °C y 50 °C, ya que temperaturas más altas (50 °C) pueden provocar gelatinización no deseada del almidón; Liu et al., (2022) reporta que el rango del porcentaje de acetilo está entre 1,5 % y 2,5 % y grado de sustitución entre 0,02 y 0,12 valores que son comunes en almidones acetilados de bananos con el fin de mejorar sus propiedades funcionales, como la estabilidad, la solubilidad y la resistencia a la retrogradación.

Tabla 4

Porcentaje de acetilo y grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción

Temperatura (°C) % Grupos Acetilo (%AC) Grado de sustitución (GS)

30 2,0896 ± 0,2710a 0,0780 ± 0,0088a

40 2,6652 ± 0,3166b 0,1031 ± 0,0125b

50 3,3104 ± 0,3826c 0,1289 ± 0,0154c

Promedio por triplicado ± desviación estándar



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a

la temperatura de reacción en los almidones acetilados

Como se observa en la Figura 8, el grado de sustitución y el porcentaje de grupos acetilo del almidón nativo al acetilado aumentó progresivamente, donde a una temperatura de 30 °C se obtuvo un % Ac de 2,0896 y Gs de 0,0780, mientras que a una temperatura de 50 °C alcanza un % Ac de 3,3104 y Gs de 0,1289, valores atribuidos debido a que a temperaturas elevadas el anhídrido acético y otros solventes utilizados en la reacción pueden volverse más solubles y difundir mejor en la matriz del almidón, favoreciendo así el proceso de acetilación, misma tendencia que reportó León et al., (2020) en su investigación demostrando que a mayor volumen de anhídrido acético se incrementa el %Ac y GS, este aumento en la molécula de almidón frena



www.redalyc.org | Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética

<https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

la linealidad de la amilosa o segmentos de amilopectina, lo que

conlleva a una reasociación de las cadenas del almidón hacia una estructura más ordenada, reportando un GS de 0,78 para almidón acetilado derivado de plátano macho, valor que difiere de los obtenidos por Navarrete et al., (2023) donde en grado de sustitución obtuvo un valor de 0,018 en almidón de semilla de aguacate acetilado con ácido acético al 5% (v/v), por otro lado Teodoro et al., (2015) reporta que en



dx.doi.org | Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano

<http://dx.doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2072>

el almidón acetilado presentó un porcentaje de grupos acetilo de 39,5 % con un GS de 1,15%, estos resultados no son similares al porcentaje de acetilación de los datos obtenidos, las diferencias detectadas en el contenido de grupo acetilo en los almidones pueden ser atribuidas al arreglo de la amilosa y amilopectina en una estructura semi cristalina, a poros o fracturas de la estructura granular, al tamaño de los gránulos, los cuales son particulares dependiendo de la temperatura que se le aplique al almidón acetilado y la variedad de banano.

Figura 8



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Media de Fisher LDS del Porcentaje de Acetilo y Grado de sustitución



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509\\_ESPINOZA ENRIQUEZ ANTHONY EMANUEL.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509_ESPINOZA ENRIQUEZ ANTHONY EMANUEL.pdf)

a diferentes

temperaturas de reacción.

□

□

### 3.3 Valoración de la Composición Proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas. 3.3.1

45

dialnet.unirioja.es

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf>

Composición proximal del almidón nativo y acetilado

Tabla 5

Composición proximal del almidón nativo y acetilado

a diferentes temperaturas de reacción

Temperatura (°C)

Componente (%) 0 30 40 50

Humedad 8,4937 0,2986c 6,9067 0,7777b 6,75370,2533b 3,4763 0,0469a

Ceniza 2,37470,3183b 1,6497 0,3320a 2,2130,3125ab 2,6180,2946b

Grasa 0,56670,0577c 0,33330,0577ab 0,40b 0,43330,0577a

Proteína 2,76670,0551d 0,810,0436b 1,28330,0503c 1,860,06a

Fibra 0,14670,0058c 0,12330,0115bc 0,10330,0153b 0,05670,0208a

Hidratos de Carbono 90,6690,4281b 88,5607a 88,50370,6463a 88,02531,1369a

Promedio por triplicado □

46

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

desviación estándar. Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a la temperatura de reacción en los almidones acetilados

En la Tabla 5 se puede constatar la composición química de los almidones acetilados y almidón nativo de banano variedad Cavendish. Se puede evidenciar que los datos

correspondientes a sus componentes químicos cumplen con la distribución normal de datos ( $p > 0,05$ ) y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente los componentes químicos ( $p > 0,05$ ).

En la figura 9 se visualiza que el componente de cenizas aumenta con respecto al incremento de la temperatura de reacción mostrando su valor más alto a 50 °C con 2,6180,2946%, mientras que para los hidratos de carbono y fibra sus valores fueron decreciendo con el aumento de temperatura con 88,02531,1369% y 0,05670,0208%, respectivamente resultados diferentes a los obtenidos por Mogrovejo, (2018), el cual reportó que el porcentaje de ceniza obtenido por el método seco fue de 0,221% en almidón de oca, mientras que Torres et al., (2015) obtuvo en cenizas un valor de 1,78% para almidón acetilado de malanga; de igual manera, Herbert et al., (2018) reportó valores bajos en porcentaje de cenizas de 0,31% ya que utilizó tratamientos con ácido lo que ocasionó que el porcentaje de cenizas disminuyera por el efecto de solubilización del tratamiento aplicado.

En el caso de la fibra de igual manera se evidenció una disminución cuanto mayor era la temperatura de reacción tendencia que dista de las reportadas por Olatunde et al.,(2017) en su estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones de banano y plátano tanto nativo como acetilados, donde el valor para fibra del almidón de banano acetilado fue mayor en comparación con el almidón nativo de banano con valores de 0,66 % y 0,92% respectivamente valores similares a los obtenidos por Carrillo, (2024) donde obtuvo 0,76 % en fibra para almidones acetilados de maíz, esta disminución se le puede atribuir a las degradaciones que sufre el almidón durante su modificación.

Mientras que los porcentajes de hidratos de carbono presentaron una disminución progresiva conforme el aumento de la temperatura de reacción en los almidones acetilados siendo que a 50 °C el valor fue de 88,02531,1369 % ya que a temperaturas elevadas, las cadenas de carbohidratos pueden romperse debido a la despolimerización o degradación térmica, lo que reduce la integridad estructural del almidón, tendencia contraria a la reportada por Ayo et al., (2022) en su estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones puros y modificados de banano Cardaba donde presentó un aumento en el contenido de carbohidratos en los almidones modificados con valores de  $88,25 \pm 0,01$  % .

Figura 9

Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de fibra, carbohidratos y ceniza

□

□

□

En la figura 10 se visualiza una disminución en los porcentajes de grasa, proteína y humedad donde para los almidones acetilados a 30 °C se registraron valores de 0,3333 % , 0,81 % y 6,9067 % respectivamente mientras que para los almidones acetilados a 50 °C sus valores fueron de 0,4333 % , 1,86 % y 3,4763 % , los valores de almidón acetilado fueron notoriamente más bajos comparados al almidón nativo, se puede atribuir los bajos contenidos de estos componentes a la descomposición que sufre las partículas de almidón durante el proceso de modificación la cual también provoca la precipitación de las proteínas y las grasas al medio de reacción (Cedeño et al., 2023).

Aparicio et al., (2024) reporta una tendencia igual para el almidón de plátano macho modificado siendo que el porcentaje de humedad fue de 11,2416 % mientras que para la proteína y grasas sus valores fueron de 0,9882 % y 0,5012 % respectivamente, de igual manera Fontes et al., (2017) en su estudio donde caracterizó las propiedades funcionales del almidón de plátano verde de la variedad Mysore evidencio porcentajes de proteína menor (0,44 %) y una humedad mayor (12,30 %) a la registrada en almidón de plátano verde. Por otro lado, Marta et al., (2019) obtuvo valores de 8,92 % para humedad, 0,96 % para proteína y 0,24 % para grasa en almidón de banano de la variedad Kapas mientras que para la variedad Kepok los porcentajes de humedad y grasa fueron menores con 6,83% y 0,06 %, respectivamente; sin embargo, el porcentaje de proteína (1,01%) fue similar al de la variedad Kapas, las diferencias en los valores reportados se los puede atribuir a las variedades del almidón y a las condiciones de acetilación.

Zapata et al., (2020) observo que cuanto mayor era el contenido de humedad del almidón mayor era el porcentaje de cenizas, presentando valores de 15,61 % y 9,53 % humedad para almidón de banano verde y almidón de mandioca respectivamente, por otro lado, su contenido de cenizas fue 0.26% para el banano verde y 0.07% para mandioca.

El almidón nativo de banano generalmente tiene un contenido de grasa muy bajo, típicamente inferior al 1 %, esto se debe a que el almidón es un polisacárido compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, con una mínima presencia de lípidos, según Zhang et al. (2019) reportó que el almidón nativo de banano contiene aproximadamente 0,2 - 0,5 % de grasa, dependiendo de la variedad y el método de extracción, valores que concuerdan con los obtenidos por Olatunde et al., (2017) en su trabajo donde estudió las propiedades químicas y funcionales de almidones de banano y plátano modificados por acetilación siendo que para el almidón acetilado de banano se presentó un porcentaje de grasa de 0,21 %, mientras que para el almidón de plátano acetilado, el valor fue mayor, 0,47 %.

De acuerdo a Chévez, (2020) en el estudio de banano maqueño «Red Dacca» (Musa acuminata) existe diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en los distinto tratamiento de composición proximal, el valor más alto fue el T3 extraído de La Maná con 4,98 %, mientras que el T6 extraído del Empalme obtuvo 3,75 %, siendo este el valor más bajo, depende del lugar de donde se extrae, ya que al modificarlo la acetilación del almidón de banano introduce grupos acetilo en las moléculas de almidón, lo que puede afectar la interacción entre las proteínas y el almidón, esto puede alterar la solubilidad, la capacidad de retención de agua y la estabilidad térmica de las proteínas.

Figura 10

Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de lípidos, proteínas y humedad

□

□

□

### 3.4 Valoración de las propiedades funcionales de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.

#### 3.4.1 Propiedades funcionales del almidón

Figura 11

Influencia de la temperatura sobre el Poder de Hinchamiento (PHI),



doi.org | Buenas prácticas ganaderas en hatos lecheros de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia

<https://doi.org/10.24188/recea.v9.n5.2017.523>

Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA)

□

□

□

Como se evidencia en la figura 11 se observa que los almidones que fueron acetilados a temperaturas de 30, 40, 50 °C evidenciaron incremento en el poder de hinchamiento, índice de absorción de agua e índice de solubilidad con respecto a su coterráneo nativo, reportando que sobresale el almidón acetilado a 50 °C debido a la mayor porosidad y menor compactación de los gránulos de almidón, y se puede atribuir a que la inserción de grupos acetilo dentro de las moléculas de almidón ocasionan que se dé una reorganización estructural del mismo por un impedimento estérico lo que da como resultado un rechazo entre las moléculas de almidón, ayudando de esta manera al incremento de la filtración del agua en las regiones amorfas del gránulo dando en consecuencia un crecimiento en la capacidad de hinchamiento del almidón (Montoya, 2021).

En el poder de hinchamiento (PHI) como se observa en la figura 11 presenta mayor crecimiento entre el rango de temperatura 70 – 90 °C, tanto para el almidón nativo como para el almidón acetilado siendo el almidón acetilado a 50 °C a una temperatura de 90 °C el mayor valor con 16,2104 siguiendo la tendencia Anchundia, (2019) evidenció un incremento a medida que la temperatura aumenta, obteniendo el mayor valor a los 95 °C con 13,58 g/100g en almidón nativo de camote y 15,13 g/100g para el almidón acetilado, entendiendo que el poder de hinchamiento del almidón de banano acetilado se refiere a la capacidad del almidón modificado químicamente mediante acetilación para absorber agua y aumentar su volumen cuando se expone a diferentes temperaturas, concordando según lo reportado con Correa et al., (2017) a una menor temperatura su PHI fue de 2,36 % y Thanyapanich et al., (2021) que al explorar las propiedades funcionales del almidón de banano acetilado destaca que el poder de hinchamiento aumenta proporcionalmente con la temperatura, alcanzando un pico a 85 °C dándonos a entender que este comportamiento se asocia con la mayor hidrofobicidad inducida por la acetilación con resultados de 17,23 ± 0,94 g/g y 15,90 ± 0,15 g/g, respectivamente.

El índice de solubilidad (IAA) de los almidones incremento de acuerdo con el aumento del poder de hinchamiento siendo el máximo valor obtenido a 50 °C con un valor de 0,1553, esto se debe a que a medida que los gránulos de almidón se hinchan, se ven afectados los enlaces intergranulares haciendo que se debiliten y ocasionando que se filtre al medio continuo la amilosa que son las moléculas de almidón unidas de formas suelta, resultados similares reportados por Villanueva et al., (2018) el cual menciona en su investigación que el almidón de banano acetilado la solubilidad tiende a aumentar con el incremento de la temperatura, esto se debe a que el calor facilita la ruptura de los enlaces de hidrógeno dentro de la estructura del almidón, permitiendo una mayor interacción con las moléculas de agua, de igual forma Olazába et al., (2022) reportó valores de 6,1231 en el índice de solubilidad de agua para almidón acetilado de arroz valor mayor en comparación al almidón nativo.

Según el gráfico de Índice de Absorción de Agua (ISA) indican que aumenta significativamente con el aumento de la temperatura de reacción con valores de 0,0121 hasta 0,1553, estos valores pueden variar dependiendo de factores como la variedad del banano, el método de extracción del almidón y las diferentes temperaturas que se aplican en la acetilación, como observó Anchundia, (2019) en su estudio donde visualizó un incremento conforme la temperatura aumentaba obteniendo el mayor valor de absorción de agua a 95 °C con 25,73 g/100g en almidón acetilado de camote. Por otro lado, Herlina et al., (2019) encontró que el almidón de banano verde tiene una capacidad de absorción de agua significativamente mayor en comparación con el almidón de banano maduro, debido a las diferencias en el contenido de amilosa y amilopectina, destacó que el tratamiento térmico puede modificar la capacidad de absorción en temperatura de 50 °C a 1,03 % y a temperatura 90 °C llegando a 2,51 % de ISA.

#### 3.4.2 Capacidad de Retención de Aceite

Tabla 6

Capacidad de retención de aceite

Temperatura (°C)

Propiedades Funcionales 0 30 40 50

Capacidad de retención de aceite 2,2667±0,7638a 2,7±0,4583ab 3,2333±0,3786ab 3,5333± 0,5508b

Promedio por triplicado □



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

desviación estándar Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a la temperatura de reacción en los almidones acetilados

En la Tabla 6 se exhibe la capacidad de retención de aceite del almidón nativo y acetilado de banano variedad Cavendish, donde se constata que los datos correspondientes a la capacidad de retención de aceite cumplen con la distribución normal de datos (p 0,05), y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente esta propiedad (p 0,05).

Figura 12

Impacto de la temperatura de reacción en la capacidad de retención de aceite (CRAC)

□

Como se observa en la Figura 12 la temperatura de reacción afectó significativamente la capacidad de retención de aceite (p 0,05); los almidones que fueron acetilados a temperaturas de 30, 40, 50 °C evidenciaron un impacto notorio en la retención de aceite denominada CRAC donde para el almidón nativo se obtuvo una capacidad de 2,2667±0,7638 %, valor que fue aumentando en los almidones acetilados siendo que a mayor temperatura mayor capacidad para la retención de aceite, a temperaturas de reacción de 50 °C se evidenció un valor de 3,5333 ± 0,5508 %, misma tendencia a la reportada por Torres et al, (2015) donde obtuvo mayores valores en la capacidad de retención de aceite en el almidón modificado con respecto al nativo de malanga mostrando valores de 9,93 ± 0,80 % y 6,51 ± 0,25 %, respectivamente, atribuyendo estos aumentos



www.scielo.org.mx | Obtaining and structural characterization and functional of acetylated starch of taro (Colocasia esculenta Schott)

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000400019&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400019&lng=en&tlng=en)

al carácter hidrofóbico que le da el grupo funcional que es introducido en el almidón al ser modificado causando un impedimento estérico facilitando el paso del aceite dentro del gránulo del almidón. Torres et al., (2018) reporta un el valor de CRAC de 0,9 %, dando entender que varía dependiendo del contenido de fibra, ya que la fibra presenta propiedades de hidratación elevadas, también se debe tener en cuenta que Mounir et al., (2024) en su investigación la temperatura durante la acetilación afecta la eficiencia de la reacción y la distribución de los grupos acetilo en las moléculas de almidón

#### 3.4.3 Sinéresis

Figura 13

Influencia de la temperatura de reacción en la Sinéresis de los almidones según los días de almacenamiento.



□

En la Figura 14, mediante observación, podemos determinar la cantidad

50

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

de liberación de agua del almidón nativo y modificados mediante acetilación a distintas temperaturas, durante 7 días, reporta una disminución en el porcentaje de sinéresis al aumentar los días, demostrando que el almidón

acetilado a 50 °C es más estable a la refrigeración con un valor de  $69,9484 \pm 3,60\%$ , ya que en bajas temperaturas, las cadenas de amilosa y amilopectina tienden a reorganizarse y expulsar agua, lo que provoca sinéresis y esta debido a la propiedad de barrera del almidón acetilado a distintas temperaturas

51

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

la introducción de grupos acetilos en la molécula anhidro glucosa impide la salida del agua y aumenta la estabilidad al liberar agua en condiciones de refrigeración, lo que indica que el almidón es más estable a la

degradación, siguiendo la tendencia según Águila et al., (2022) demuestra que las moléculas de almidón

52

repositorio.unas.edu.pe

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

cuando se someten a congelación puede derivar en sinéresis que influye en sus

propiedades funcionales ya que al almidón después de cierto tiempo de someterlo a almacenamiento en congelación deriva a una baja sinéresis indicando que el almidón es menos propenso a degradación, es decir posee una mayor estabilidad como se evidencia en las variedades de guayabo con  $1,25 \pm 0,07\%$  y moquicho  $0,87 \pm 0,09\%$  así como también Delgado et al., (2024) indica que el porcentaje de sinéresis en promedio de la investigación es de  $1,32\%$  del almidón nativo de Vituca manteniéndose estable a estas temperaturas de almacenamiento evaluadas en 5 días que contemplan 120 horas dando un resultado de  $1,46 \pm 0,12$  a  $4\text{ °C}$  sin mostrar exudación o expulsión de líquido fuera del gel. Por otro lado, Veloso et al., (2022) reportó un valor de  $3,03\%$  en sinéresis el primer día y desde el segundo hasta el decimoquinto día se mantuvo estable en el almidón blanco acetilado de inhambu.

3.5 Impacto de la temperatura de reacción sobre las propiedades físicas de los almidones obtenidos por acetilación

3.5.1 Densidad Aparente

Tabla 7

Densidad Aparente de los almidones acetilados

Temperatura (°C)

Propiedades físicas 0 30 40 50

Densidad Aparente  $0,7856 \pm 0,0064a$   $0,7820 \pm 0,0151b$   $0,7609 \pm 0,0132bc$   $0,7366 \pm 0,0114c$

Promedio por triplicado □

53

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

desviación estándar Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a

la temperatura de reacción en los almidones acetilados

En la Tabla 7 se refleja la densidad aparente tanto del almidón nativo y como del almidón acetilado de banano de la variedad Cavendish, donde se constata que los datos correspondientes a densidad aparente cumplen con la distribución normal de datos ( $p \leq 0,05$ ) y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente la densidad aparente de los almidones ( $p \leq 0,05$ ).

Figura 14

Influencia de la temperatura de reacción en la densidad aparente de los almidones

□

En la figura 13 se observa que el incremento la temperatura de reacción provoca una mayor hinchazón de los gránulos de almidón, lo que reduce la densidad aparente debido al aumento del volumen ocupado por el almidón gelatinizado, siguiendo la tendencia que marca Kusalaruk et al., (2023) que investigó el efecto de diferentes temperaturas de secado 40, 50 y 60 °C en la densidad aparente del almidón de banano, donde sus resultados mostraron que a medida que aumentaba la temperatura de secado, la densidad aparente disminuía debido a la mayor porosidad y menor compactación de los gránulos de almidón, según lo demostrado por Wang et al., (2015) que sugieren que el tratamiento térmico a altas temperaturas puede alterar la morfología de los gránulos, reduciendo su densidad aparente, tendencia diferente a la reportada por Vergara et al., (2023) donde a mayor contracción del reactante presentó mayores valores en la densidad aparente siendo su valor máximo reportado de  $0,748 \pm 0,004$  en el almidón de banano variedad Cavendish acetilado con 15 mL de anhídrido acético, mientras para el almidón acetilado con 10 mL de Anhídrido acético obtuvo un valor de  $0,742 \pm 0,001$ .

## CONCLUSIONES

El rendimiento obtenido a través de la molienda húmeda del almidón proveniente de banano variedad Cavendish fue del  $9,671 \pm 1,545\%$ ; con respecto a la modificación por acetilación, se muestra que el incremento de temperatura provoca efecto de incrementar el porcentaje de grupos acetilo (%AC) y el grado de sustitución (GS) ( $p \leq 0,05$ ); lo que provocó cambios en su composición proximal, tanto los Hidratos de carbono como la humedad, proteínas, grasa y fibra mostraron una tendencia decreciente dando a entender que la temperatura de reacción tuvo un impacto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en estos componentes mientras que en el caso de las cenizas su tendencia fue creciente.

En densidad aparente, el gránulo de almidón presenta una mayor hinchazón lo que reduce la densidad aparente debido al aumento del volumen ocupado por el almidón gelatinizado, así como el almidón nativo empieza con una densidad aparente de  $0,7856\%$  y a una temperatura de reacción de  $50\text{ °C}$  su densidad es de  $0,7366\%$  entendiéndose que a medida que aumentaba la temperatura de acetilación, la densidad aparente disminuía debido a la mayor porosidad y menor compactación de losgránulos de almidón.

En cuanto a la sinéresis al incrementar la temperatura de reacción el porcentaje de sinéresis fueron decreciendo, evidenciando menor liberación de agua ( $p \leq 0,05$ ).

## RECOMENDACIONES

Para una extracción más efectiva y un mayor porcentaje de almidón es preferible elegir el banano en la temporada donde la producción de banano es alta ya que en esta temporada al disminuir las lluvias y aumentar los días soleados provoca que el banano engruese más rápido dando, por lo tanto, mayor cantidad de almidón.

Al momento de licuar usar la máxima revolución y usar liencillo para filtrar mejor el almidón con el fin de que no se pase la pulpa.

Aprovechar los residuos de la extracción del almidón como lo son la cáscara y pulpa del banano para futuras investigaciones.

En la sinéresis del almidón de banano acetilado es recomendable dejar las muestras por al menos 15 días para verificar de manera más óptima el comportamiento del almidón acetilado.

## BIBLIOGRAFÍA

Armijos Hurtado, A. A. (2023). Diseño de un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la empresa ROLDEG SA ECUADOR.[Bacheor´s Tesis, Escuela Superior Politecnica de Chimborazo]

Anchundia, M. A. L.



**repositorio.utmachala.edu.ec**

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

(2019). Caracterización funcional de almidón acetilado de camote y su utilización en la formulación de pudines de frutas.



**bibliotecavirtual.dgb.umich.mx** | Desarrollo de una película a partir de almidón acetilado de camote morado como potencial alternativa en el desarrollo de biopelícula...

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/6401](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6401)

SATHIRI, 14(1),

160-173. <https://doi.org/10.32645/13906925.813>

Aguila, C, A, M.



**Documento de otro usuario**

El documento proviene de otro grupo

(2022).



**repositorio.unas.edu.pe**

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

Propiedades Funcionales, Morfológicas y Térmicas de Harina y Almidón de Plátano Variedades *Musa acuminata* AA Y *Musa acuminata*

AAA. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C.G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M.



**doi.org**

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>

(2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>

Alegría León, J., & Farrera Olea, J. J. (2022). Manual de obtención, caracterización y uso de harinas y almidones de fuentes no convencionales. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Ciencia y Artes de Chiapas]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4548>

Aidoo, R., Oduro, I. N., Agbenorhevi, J. K., Ellis, W. O., & Pepra-Ameyaw, N. B. (2022).



**repositorio.unas.edu.pe**

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

Physicochemical and pasting properties of flour and starch from two new cassava accessions. *International Journal of Food Properties*

, 25(1), 561-569. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2022.2052087#abstract>

Amaya-Pinos,



**revistas.unal.edu.co** | Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico | Revista Colombiana de Química

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/74469>

J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, 48(1),

43-51. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>

Aparicio-Saguilán, A., Páramo-Calderón, D. E., Vázquez-León, L. A., Aguirre-Cruz, A., García-Muñoz, M. A., Valera-Zaragoza, M., ... & Ramírez-Hernández, A. (2024). Resistant starch from plantain (*Macho Musa paradisiaca* L.) and banana (*Roatan Musa sapientum* L.) varieties crosslinked with epichlorohydrin. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 66.

Ayo-Omogie, H. N., Johnson, O. O., Awolu, O. O., & Oluwajuyitan, T. D. (2022).



**repositorio.utmachala.edu.ec**

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Physicochemical, Functional, Pasting Properties and Fourier Transform Infrared Spectroscopy of



**www.scielo.org.co** | Coating of oxidized banana starch and olive oil for the preservation of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* cv. *Cerasiforme*)

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=50304-28472024000310853](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50304-28472024000310853)

Pure and Modified Cardaba Banana (*Musa ABB*) Starches.

SSRN. <https://ssrn.com/abstract=4113796>

Barrezuela Unda, S., Domingue, C. A., & Añazco Loaiza, H. (2024). Impacto de la fertilización con biocarbón y SiO<sub>2</sub> en el desarrollo del banano. *Manglar*, 21(1), 87-93. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.009>

63

repositorio.utc.edu.ec

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11622/1/MUTC-001770.pdf>

Bashir, K., & Aggarwal, M. (2019). Physicochemical, structural and functional

64

dx.doi.org | Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)

<http://dx.doi.org/10.51252/raa.v4i2.639>

properties of native and

irradiated starch: a review. *Journal of food science and technology*, 56, 513-523. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2>

Carrillo Cañedo, K. I. (2024).

65

repositorio.uas.edu.mx | Obtención y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz acetilado y microcristales de celulosa aislados de *Padina durvillae*

[http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB\\_UAS/728#:~:text=Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo, de películas comestibles de almidón de maíz acetilado.](http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB_UAS/728#:~:text=Por%20lo%20tanto,%20el%20objetivo%20del%20presente%20trabajo,%20de%20pel%C3%ADculas%20comestibles%20de%20almid%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20acetilado.)

Obtención y caracterización de películas comestibles a base de

66

repositorio.uas.edu.mx

[http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/bitstream/DGB\\_UAS/728/1/Tesis-Carrillo Cañedo, Karen Itzel.pdf](http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/bitstream/DGB_UAS/728/1/Tesis-CarrilloCañedo,KarenItzel.pdf)

almidón de maíz acetilado y microcristales de celulosa aislados de

67

repositorio.uas.edu.mx | Obtención y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz acetilado y microcristales de celulosa aislados de *Padina durvillae*

[http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB\\_UAS/728#:~:text=Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo, de películas comestibles de almidón de maíz acetilado.](http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB_UAS/728#:~:text=Por%20lo%20tanto,%20el%20objetivo%20del%20presente%20trabajo,%20de%20pel%C3%ADculas%20comestibles%20de%20almid%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20acetilado.)

*Padina durvillae*

[Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa]. [http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB\\_UAS/728](http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/728)

Cedeño, L. A. S.,

68

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Díaz-Torres, R., Casariego-Año, A., Arias-Toro, D., & Yáñez-Romero, M. (2021). El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M.*

69

dialnet.unirioja.es

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf>

Sapientum

70

revistas.utb.edu.ec

<https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/download/2965/2621>

L.) variedad Cavendish.

71

repositorio.utmachala.edu.ec | Repositorio Digital de la UTMACH: El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum* L.) varied...

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17194>

Cumbres, 7(1),

9-20. <http://doi.org/10.48190/cumbres.v7n1a1>

Cedeño, L. A. S., Arias-Toro, D., Pereira, F. A. G., & Leon, W. P. C.

72

revistas.utb.edu.ec

<https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/2965>

(2023). Efecto de la acetilación en el almidón de maíz. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 8(4),

109-121. <https://revistas.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/510206>

Contreras-Pérez, R. K., Torre-Gutiérrez, L. D., González-Cortés, N., &

73

revistas.unal.edu.co

[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/download/106827/89870](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/106827/89870)

Jiménez-Vera,

74

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2266-1-10-20210630.pdf)

R.

75

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

(2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla).

*Revista científica europea, ESJ*, 14 (30), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>

Correa, D., Castaño, M. F., & Montoya, J.

76

www.scielo.org.co | Coating of oxidized banana starch and olive oil for the preservation of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* cv. Cerasiforme)

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=50304-28472024000310853](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50304-28472024000310853)

(2017) Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominicano hartón (*musa paradisiaca* L.)

*UG Ciencia* 23, 88-91. <https://repository.ugc.edu.co/items/f57762c6-6f37-4e17-8ad8-a6602f995dee>

Chávez H. H. V. (2020) Caracterización Físico-Química del Banano Maqueño Red Dacca (*Mussa acuminata*). [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/44a60047-2b23-4a27-b9d2-d99b5245ce6a/content>

77

ciencia.lasalle.edu.co

<https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/4220dbfa-bf47-43ed-9c2a-e1b9c17fb442/download>

Dávila, F.

78

Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano

79

repositorio.uvg.edu.gt

<https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/123456789/5648/1/Tesis%20final%20corregida%20formato%202.pdf>



ciencia.lasalle.edu.co

<https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/4220dbfa-bf47-43ed-9c2a-e1b9c17fb442/download>

Universitaria,

3(2). <https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.517>

Delgado, R. D.Y. (2024). Evaluación de las características funcionales del almidón nativo de vituca (Colocasia esculenta) [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca].

<http://hdl.handle.net/20.500.14074/7452>

Franco, M. F. S., Preczenhak, A. P., Bonandi, R., Oliveira, E. R., Rocha, T., & Kluge, R. (2023). La aplicación de putrescina exógena extiende la vida útil de las bananas en postcosecha.

Investigación Joven, 10(2), 258-262

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. FAOSTAT agricultural production. [https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities\\_by\\_country](https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country)

Fonseca, L. M.,



repositorio.utmachala.edu.ec

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del articulo-2266-1-10-20210630.pdf>

El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E.



repositorio.utc.edu.ec

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11622/1/MUTC-001770.pdf>

(2021).



www.mdpi.com | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.>

Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review.



repositorio.utc.edu.ec

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11622/1/MUTC-001770.pdf>

Carbohydrate Polymers,

274, 118665. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861721010523>



repositorio.uteq.edu.ec

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c2514901-b65b-4a2f-86fc-adccbe1af3e4/content>

Fontes, S. D. M., Cavalcanti, M. T., Candeia, R. A., & Almeida, E. L. (2017).



www.mdpi.com | The Properties, Modification, and Application of Banana Starch

<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3092>

Characterization and study of functional properties of banana starch green variety of Mysore (Musa AAB-Mysore). Food

Science and Technology, 37, 224-231. <https://www.scielo.br/j/cta/a/T94Kr8PJ5qZ4TLCsnhqVB4g/>

Herlina, M., Yana, C, Mohamad, D., Jayashree, A. & Tensiska T. (2019) Un estudio comparativo sobre las propiedades fisicoquímicas y de empastado del almidón y la harina de diferentes

cultivares de banano (Musa spp.) cultivados en Indonesia . International Journal of Food Properties 22:1, 1562-1575.

<https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/10942912.2016.1209517?scroll=top&needAccess=true>

Hernández, J. P. R. (2021). Obtención de microcápsulas de mucílago de café mediante secado por aspersión usando almidón de plátano modificado químicamente y maltodextrina.

[Master's Thesis, Universidad Autónoma de Manizales]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143962985.pdf>

Herbert Marín., G. E., Gómez, R. S., & Del Carmen, M. (2018). Extraction, characterization and modification of starch from post-harvest waste banana (Musa sapientum), var.

Roatán.Revista Ambiens Techné et Scientia México.6(2),2954-3622 <https://ambiental.unam.mx/albunimágenes/Revista/2018%20Vol%206%20Num%202%20ATSM.pdf#page=41>

Hipo Hipo, A. M. (2023). Elaboración, y caracterización de recubrimientos comestibles, obtenidas del almidón de zanahoria blanca, utilizadas para conservar fresas.Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo.

Huamani-H, A.L., Ponce-Ramírez, J. C.,



dialnet.unirioja.es

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf>

& Málaga-Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice

de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. Scientia Agropecuaria,



doi.org

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>

11(3), 381-390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>

Kaushik, R., Kumar, A., Rani, N., Phogat, R., & Gehlot, R.(2024). Acetylation/Esterification of Starch. In Starch (pp. 281-313). CRC Press.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781032655598-12/acetylation-esterification-starch-ranjan-kaushik-ankit-kumar-neha-rani-rekha-phogat-rakesh-gehlot>

Kusalaruk, W., Auputinan, P., Prommajak, T. & Xedzro, C. (2023). Effect of drying temperature on physicochemical properties and resistant starch in unripe banana flour obtained from

Kluai Khai Pratabong (Musa acuminata, AAA Group) and its application in a soup product. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 45(3), 407-414.

León, G. M., León, D. M., Monroy, M. A., de La Espriella, S., & Herrera,



repositorio.uteq.edu.ec | Modificación de almidón de maíz (zea mays) para mejorar sus propiedades funcionales"

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7079>

A. (2020).



www.redalyc.org | Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética

<https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

Chemical modification of starches through esterification reactions and their potential use in the cosmetic industry. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica,

39 (5), 620-629. <https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

Liu, J., Liu, M., Wang, J., Zhang, J., Miao, H., Wang, Z., ... & Jin, Z. (2021). Transcription factor MaMADS36 plays a central role in regulating banana fruit ripening. Journal of experimental

botany, 72(20), 7078-7091. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab341>



doi.org | Influence of Phosphorylation and Acetylation on Structural, Physicochemical and Functional Properties of Chestnut Starch

<https://doi.org/10.3390/polym14010172>

Liu, C., Yan, H., Liu, S., & Chang, X. (2022).



www.mdpi.com | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.>

Influence of phosphorylation and acetylation on structural, physicochemical and functional properties of chestnut starch.



**doi.org** | Influence of Phosphorylation and Acetylation on Structural, Physicochemical and Functional Properties of Chestnut Starch  
<https://doi.org/10.3390/polym14010172>

Polymers, 14(1), 172. <https://doi.org/10.3390/polym14010172>

López-Vázquez, D. E., Hernández-Rodríguez, L., LobatoCalleros, C., & Aguirre-Mandujano E. (2024). Effect of OSA modification of cacahuacintle corn starch on its physicochemical properties, digestibility and stability. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 16(2) 21–38. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2024.06.020>



**repositorio.utc.edu.ec**  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11622/1/MUTC-001770.pdf>

Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021).



**www.mdpi.com** | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications  
[https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.](https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This%20review%20describes%20the%20effects%20of%20acetylation%20modification,swelling%20volume,%20water/oil%20absorption%20capacity,%20and%20retrogradation%20stability.)

Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review.



**www.mdpi.com** | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990>

Food



**repositorio.utc.edu.ec**  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11622/1/MUTC-001770.pdf>

hydrocolloids,

111, 106393. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20317483>



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., Arcot, J., & Tensiska, T. (2019). A comparative study on the physicochemical and pasting properties of starch and flour from different banana (*Musa*



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del articulo-2266-1-10-20210630.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto%20del%20articulo-2266-1-10-20210630.pdf)

spp.) cultivars grown in Indonesia.



**repositorio.unas.edu.pe**  
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9b7f4/content>

International Journal of Food Properties



**www.mdpi.com** | The Properties, Modification, and Application of Banana Starch  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3092>

, 22(1), 1562-1575. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1657447>

Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., & Pramafisi, G. (2022). The properties, modification, and application of banana starch. *Polymers*, 14(15), 3092.

<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3092>



**repositorio.utmachala.edu.ec**  
[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Martínez P., Málaga A., Betalueluz I., Ibarz A., Veleznoro C. (2015) Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6 (4): 291 -301. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2019000300006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300006)

Martínez-Ortiz, M. A., León-Fernández, A. E., Bello-Lara, J. E., Berumen-Varela, G., Bautista-Rosales, P. U., Jiménez-Zurita, J. O., ... & Balois-Morales, R. (2022). Almidones de frutos tropicales y su aplicación en la industria alimentaria: mango, plátano, chirimoya y guanábana. Una revisión. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(56), 1-13.

[https://riiit.com.mx/apps/site/files\\_v2450/almidon\\_nay\\_1\\_riiit\\_div\\_may-jun\\_2022\\_v1.pdf](https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/almidon_nay_1_riiit_div_may-jun_2022_v1.pdf)

Martins, A. N., Suguino, E., Araújo, H. S., Firetti, R., Turco, P. H. N., & Amorim, E. P. (2022). Agronomic behavior of banana cultivars in the geographic microregion of Assis, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(4), e-112. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022112>

Méndez, P. A., Méndez, A. M., Martínez, L. N., Vargas, B., & López, B. L. (2022).



**pubmed.ncbi.nlm.nih.gov** | Cassava and banana starch modified with maleic anhydride-poly (ethylene glycol) methyl ether (Ma-mPEG): A comparative study of their ...  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35181318/>

Cassava and banana starch modified with maleic anhydride-poly (ethylene glycol) methyl ether (Ma-mPEG): A comparative study of their physicochemical properties as coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 1-14.

Montoya Yepes, D. F. (2021). Almidones de arroz nativos y modificados como materiales de encapsulamiento y liberación controlada de principios naturales de origen vegetal. [Doctoral dissertation, Universidad del Tolima]. <https://repositorio.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/e4987821-4689-483d-9adb-756267d483b8/content>

Mounir, S., Ghandour, A., Shatta, A., & Farid, E. (2024). Starch: Properties and Functionality. 10.1201/9781032655598-1. [https://www.researchgate.net/publication/384020111\\_Star](https://www.researchgate.net/publication/384020111_Star)

Moreno-Zaragoza, J., Rosell, C. M., & Bello-Pérez, L. A. (2024). The multiscale structure of banana starch related to the physicochemical, thermal, functional and digestibility characteristics: A review. *Food Hydrocolloids*, 110646. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110646>

Mogrovejo, A. A. G. (2018).



**dspace.ups.edu.ec** | Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de alm...  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17712>

Determinación



**dspace.ups.edu.ec**  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>

de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad

amarilla. [Tesis Universidad Politécnica Salesiana -Sede Cuenca] <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17712>



**repositorio.unal.edu.co** | Síntesis y caracterización de nanopartículas de almidón (de mango y maíz) obtenidos por medio de nanoprecipitación para su uso como flo...  
<https://repositorio.unal.edu.co/>

Mutis González, N. (2019). Estudio de las Modificaciones Físicoquímicas Originadas por la Inclusión de Minerales en la Matriz del Almidón de Papa y Plátano. [Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76761>



**www.scielo.org.pe** | Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y aplicaciones  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172024000200311](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172024000200311)

Navarrete-Tumbaco, C. J., Mezones-Santana, J. A., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Mosquera, A. C., & Riera, M. A. (2023). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *Avances en Química*,



108

**repositorio.utmachala.edu.ec**[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

(2022). Physicochemical, functional, pasting properties and fourier transform infrared spectroscopy of native and modified Cardaba banana (Musa ABB)



109

**www.scielo.org.co**| Coating of oxidized banana starch and olive oil for the preservation of cherry tomatoes (Solanum lycopersicum cv. Cerasiforme)  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472024000310853](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472024000310853)

starches. Food Chemistry



110

**repositorio.uteq.edu.ec**<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c2514901-b65b-4a2f-86fc-adccbe1af3e4/content>

Advances,

1, 100076. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22000648>

111

**repositorio.utmachala.edu.ec**<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf>

Olatunde, G. O., Arogundade, L. K., &amp; Orija, O. I. (2017). Chemical, functional and pasting properties of banana and plantain starches modified by pre-gelatinization, oxidation and acetylation. Cogent Food &amp;

Agriculture, 3(1), 1283079. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1283079>

Olazábal-Ticona, W., Linares-Zegarra, M., de Jara, E. M., Quequezana-Bedregal, M., García-Hernández, E., &amp; Gutiérrez-Oppe, E. (2022). Efecto de la concentración de anhídrido acético en los grados de sustitución del almidón de arroz. Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era, 407.

Paz



112

**repositorio.unheval.edu.pe**[https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/10569/T023\\_47189597\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/10569/T023_47189597_T.pdf?sequence=1)

Portilla, E. I. (2024). Evaluación



113

**repositorio.upec.edu.ec**<https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c2b0050-c7ff-45ee-bae4-df4228874071/content>

nutricional de una bebida formulada con almidón de camote tradicional (Ipomoea batatas) y concentrado de mortiño (Vaccinium

meridionale). [Tesis de licenciatura, Universidad Politecnica Estatal de Carchi]. <https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c2b0050-c7ff-45ee-bae4-df4228874071/content>Padilla Chuquimarca, J. A. (2021). Comportamiento productivo de la adición de rechazo de banano Cavendish, Musa acuminata Cavendish Subgroup, cocido en la alimentación de cerdos posdestete [Bachelor's thesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena] <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6368/1/UPSE-TIA-2021-0068.pdf>

114

**repositorio.utmachala.edu.ec**[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Pescoran, Y. (2018). Evaluación del rendimiento y la calidad de almidón obtenido a partir de



115

**alicia.concytec.gob.pe**| Metadatos: Evaluación de técnicas de multiplicación en la propagación rápida de hijuelos de plátano (Musa paradisiaca L.) de la variedad ing...  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS\\_79d4960d869003f059e338a35c258002/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS_79d4960d869003f059e338a35c258002/Details)

plátano bellaco (Musa

paradisiaca). [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/246>

Pérez Machado, H. P. (2022). Comparación de los bioplásticos obtenidos



116

**dspace.esPOCH.edu.ec**<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21824/1/96T00964.pdf>

a partir de banana baby (Musa sp.) y banana roja (Musa

acuminata "Red Dacca") en el uso para embalaje de alimentos. [Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica del

Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21824/1/96T00964.pdf>Pisco, J., & Vladimir, E. (2024). Evaluación de la maduración del banano (Musa paradisiaca) bajo tres condiciones de almacenamiento. [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/6400/javier-pisco-erick-vladimir.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Qiao, J., Jia, M., Niu, J., Zhang, Z., Xing, B., Liang, Y., ... &amp; Zhang, L. (2024). Amylopectin chain length distributions and amylose content are determinants of viscoelasticity and digestibility differences in mung bean starch and proso millet starch. International Journal of Biological Macromolecules, 267, 131488.

Raza Jimbo, K. L. (2019).



117

**repositorio.uta.edu.ec** | Efecto de la incorporación de harina (pulpa-cáscara y cáscara) de banano (Musa cavendish) de rechazo en las propiedades tecno-funcionales...<https://repositorio.uta.edu.ec/8443/jspui/bitstream/123456789/29414/1/AL%20702.pdf>

Efecto de la incorporación de harina (pulpa-cáscara y cáscara) de banano (Musa cavendish) de rechazo en las propiedades tecno-funcionales y nutricionales de un

embutido tipo chorizo [Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/39ef9dac-fba1-4822-9947-8a795d78f19a/content>

Rahim, A., &amp; Kadir, S. (2017). The influence degree of substitution on the physicochemical properties of acetylated arenga starches. International Food Research Journal, 24(1),

102. [http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20\(01\)%202017\(11\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(01)%202017(11).pdf)

Ramírez Venegas, R. (2023). Propiedades físicas, químicas y tecno funcionales de almidones de papa (Solanum tuberosum) modificados por esterificación. [Tesis de Licenciatura,

Universidad Nacional Jose Maria Arguedas]. [https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/830/Rafael\\_Tesis\\_Bachiller\\_2023.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/830/Rafael_Tesis_Bachiller_2023.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ricardo, R. B. G. (2022).



118

**repositorio.upse.edu.ec** | Estado físico, químico y microbiológico del suelo en cultivo del banano Cavendish y de la palma africana Damasson 007 en la provincia de L...<https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/8730>

Estado físico, químico y microbiológico del suelo en cultivo del banano Cavendish y de la palma africana Damasson 007 en la provincia de Los

Ríos-Quevedo [Bachelor's thesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

Rosero, M. V. G., &amp; Villa, L. M. Z. (2021). Aplicación de biopelículas desarrolladas a partir de productos infrutilizados de Zea mays l. y Musa acuminata en productos de IV y V gama

[Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8506/1/RO3960\\_1%20%281%29.PDF](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8506/1/RO3960_1%20%281%29.PDF)

119

**repositorio.utmachala.edu.ec**[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Salcedo-Mendoza, J. G., Rodríguez-Lora, M. C., &amp; Figueroa-Flórez, J. A. (2016). Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (Manihot

esculenta Crantz) y ñame (Dioscorea alata cv. Diamante 22). Revista Mexicana de ingeniería



120

**repositorio.utmachala.edu.ec**<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17194/1/510-Texto del artículo-2266-1-10-20210630.pdf>

química, 15(3), 787-796.

Salazar, E. J. L., Toro, D. A., Villalta, G. K. G., & Tamayo, E. A. R. (2022). Determinación del contenido nutricional de harina de banano aplicando el proceso de deshidratación. *Journal of science and research*, 7, 11-27. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2833/2334>

Sánchez, S. S. C., López, W. E. R., & Rojas, M. P. R. (2020). Caracterización del almidón de sagú (*Canna indica*) fermentado para la implementación de procesos agroindustriales. *Revista Sistemas de producción agroecológicos*, 11(2), 23-51.

Sinhmar, A., Pathera, A. K., Sharma, S., Nehra, M., Thory, R., & Nain, V. (2023). Impact of various modification methods on physicochemical and functional properties of starch: a review. *Starch-Stärke*, 75(1-2), 2200117. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.202200117>

Sindhu, R., Devi, A., & Khatkar, B. S.

121

dialnet.unirioja.es

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9212864.pdf>

(2021). Morphology, structure and functionality of acetylated, oxidized and heat moisture treated amaranth starches. *Food*

122

www.mdpi.com | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applicati...  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.>

Hydrocolloids, 118, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106800>

Subroto, E., Cahyana, Y., Indianto, R., & Rahmah, T. A. (2023). Modification of starches and flours

123

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

by acetylation and its dual modifications: A review of impact on physicochemical properties

124

www.mdpi.com | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applicati...  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.>

and their applications. *Polymers*, 15(14), 2990.

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990>

125

doi.org | Functional Properties of Banana Starch (*Musa spp.*) and Its Utilization in Cosmetics

<https://doi.org/10.3390/molecules26123637>

Thanyapanich, N., Jimtaisong, A., & Rawdkuen, S. (2021).

126

www.mdpi.com | The Properties, Modification, and Application of Banana Starch

<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3092>

Functional

127

repositorio.unas.edu.pe

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

Properties of Banana Starch (*Musa spp.*) and Its Utilization in Cosmetics.

128

doi.org | Functional Properties of Banana Starch (*Musa spp.*) and Its Utilization in Cosmetics

<https://doi.org/10.3390/molecules26123637>

*Molecules*, 26(12), 3637. <https://doi.org/10.3390/molecules26123637>

129

dx.doi.org | Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano

<http://dx.doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2072>

Teodoro, A.P., Mali, S., Romero, N. y de Carvalho, G. M. (2015).

130

www.mdpi.com | Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applicati...  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990#:~:text=This review describes the effects of acetylation modification,swelling volume, water/oil absorption capacity, and retrogradation stability.>

Cassava starch films containing acetylated starch nanoparticles as reinforcement: physical and mechanical characterization.

131

dx.doi.org | Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano

<http://dx.doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2072>

*Carbohydrate Polymers*. 126: 9-16.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25933516/>

Túquerres, J. A. M.

132

repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

(2021). Obtención de una película biodegradable a partir de almidón modificado de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y papa yana shungo (*Solanum andigena*) para el uso en alimentos. [Bacheor's Thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Torres Beceril, M., Carmona García, R., & Aguirre Cruz, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 905-912.

Torres-Oblitas, K., Sancho, A. M., & Gozzi, M. S. (2018). Caracterización físico-química de harina obtenida a partir de cáscaras de banana (*Musa paradisiaca*) y su aceptabilidad en budines sin gluten. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(2), 22-29. <https://revcitalc.iii.edu.ec/revista/index.php/RCTA/article/view/59>

133

www.scielo.org.pe

<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v15n2/2306-6741-agro-15-02-311.pdf>

Ventura-Avalos, Y., Díaz-Soto, R., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2024).

134

www.scielo.org.pe | Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y aplicaciones

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172024000200311](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172024000200311)

Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y

135

www.scielo.org.pe

<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v15n2/2306-6741-agro-15-02-311.pdf>

aplicaciones. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 311-325.

136

doi.org

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.024>

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.024>

Veloso, C. M., Santos, L. S., & Ferreira, B. R. C. (2022). Chemical, Morphological, Thermal and Technological Properties of Acetylated White Inhambu Starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 246-257. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02190-7>  
Vergara-Espinoza, K. A., & Mejia, V. N (2023).



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3740.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22732/1/Trabajo_Titulacion_3740.pdf)

Efecto de recubrimiento de almidón de banana acetilado y aceite esencial de romero en parámetros de conservación de tomate Cherry.

[Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22732?mode=full>

Villanueva, M., Lamo, D.B, Harasym., J., & Ronda, F. (2018). Structural characteristics and physicochemical properties of acetylated starch. *Carbohydrate Polymers*, 201, 1-8.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718309500?via%3Dihub>

Wang, S., Li, C., & Copeland, L. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1237-1252.

<https://earthwormexpress.com/wp-content/uploads/2021/01/Starch-Retrogradation-A-Comprehensive-Review.pdf>

Zhang, Y., Chen, X., & Zhang, Y. (2019). Comparative study on the physicochemical properties of starches from green and ripe bananas. *Carbohydrate Polymers*, 207, 579-586.

[https://www.researchgate.net/publication/327588499\\_Comparison\\_of\\_Physicochemical\\_Properties\\_of\\_Starches\\_from\\_Flesh\\_and\\_Peel\\_of\\_Green\\_Banana\\_Fruit](https://www.researchgate.net/publication/327588499_Comparison_of_Physicochemical_Properties_of_Starches_from_Flesh_and_Peel_of_Green_Banana_Fruit)

Zapata, D., Gutierrez, A. L. L., Pinday, W. T., & Barrios, E. M. C. (2020). Biopelícula a partir de



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509\\_ESPINOZA\\_ENRIQUEZ\\_ANTHONY\\_EMANUEL.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18622/1/T-27509_ESPINOZA_ENRIQUEZ_ANTHONY_EMANUEL.pdf)

almidón de banana verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*).

Revista Científica Pakamuros, 8(4). <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/113/113>

## ANEXOS

□

□

Anexo 1: Secado del almidón en estufa    Anexo 2: Molturación del almidón secado

□

□

Anexo 3: % H almidón

Anexo 4: Propiedades funcionales

□

□

Anexo 5: Peso caja petri

Anexo 6: Titulación almidón

□

□

Anexo 7: Grupos acetilos

Anexo 8: Molturación almidón

□

□

Anexo 9: Limpieza del Ph metro

Anexo 10: Centrifugación de almidón

□

□ Anexo 11: Propiedades funcionales

Anexo 12: Almidón acetilado



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

Las que suscriben, MARQUEZ ORDOÑEZ AMBAR NATIVIDAD y CHAMBA CRUZ ANDREINA LIZBETH, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Estudio de las condiciones de modificación por acetilación del almidón de banano y sus efectos en las propiedades funcionales, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las 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.

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

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



MARQUEZ ORDOÑEZ AMBAR NATIVIDAD

0750529000



CHAMBA CRUZ ANDREINA LIZBETH

0705664647

## **Dedicatoria**

Dedico el presente documento principalmente a Dios, por guiarme en mi camino y darme fortaleza para seguir adelante. A mis Padres, Tarcila Jacinta Cruz Ramírez y Santos Gilberto Chamba Túqueres, por siempre darme apoyo, consejos y estar para mí cuando más los necesitaba. A mi hermana, Angeline Mishell Chamba Cruz, por siempre estar para mí incondicionalmente, escuchándome en todo momento. A mi abuelita Ramírez Mite Santos María Magdalena, la cual me cuida y guía desde el cielo. A todos mis docentes de la Carrera de Alimentos, que han sido parte de todo el Proceso de mi formación profesional académica desde primer semestre hasta la actualidad. Con todo el cariño del mundo, ¡Gracias!

**Andreina Lizbeth Chamba Cruz**

En primer lugar, le agradezco a Dios y a toda mi familia que me ha guiado, apoyado y han sido mis incondicionales durante esta etapa de mi vida universitaria. A mis padres, Jessica Ordóñez y Vinicio Márquez por apoyarme en cada etapa de mi vida, por cumplir, por ser mi confort y guía en cada meta que me he planteado. A mi abuela que siempre estuvo pendiente de mí, presta para brindarme sus consejos. A mis hermanas, Anahis y Francesca, por estar para mí cuando más las necesitaba. A mi tía, por siempre preocuparse por mi bienestar. A mi mejor amiga, Paula, le agradezco su amistad incondicional, respaldo constante y su cariño reconfortante que me brindó para seguir adelante. A nuestros docentes de la Carrera, les agradezco por compartir sus experiencias en el campo laboral y académico.

**Ámbar Natividad Márquez Ordóñez**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, le agradezco a Dios y a mi familia, que me ha guiado y han sido mi constante apoyo durante esta etapa de mi vida. A mis padres, Jessica Ordoñez y Vinicio Márquez, por apoyarme a cumplir todas las metas que me he planteado. A mi abuela, que siempre estuvo pendiente de mí, presta para brindarme sus consejos. A mis hermanas, Anahis y Francesca, por su paciencia y cariño incondicional. A mi tía, por siempre preocuparse por mi bienestar. A mi compañera de tesis y amiga, Andreina Chamba, por su paciencia, apoyo y la confianza que depositó en mí durante todo este proceso. De igual manera, quiero agradecer a mis compañeros y amigos que hice en estos años, por ayudarme a sobrellevar todo, con los cuales he podido disfrutar de mi vida universitaria. A mi mejor amiga, Paula, le agradezco su amistad, respaldo constante y su cariño incondicional que me brindó para seguir adelante, amistad con la cual compartí todos los años de mi vida universitaria y con la cual espero compartir muchos recuerdos más. A mi profesor de titulación Ing. Fabián, por su paciencia y conocimiento impartido y a mi profesora de primer semestre Ing. Linda Cabrera por sus consejos que me brindo motivándome a seguir adelante. A nuestro tutor, el Ing. Luis Cedeño, le agradezco por compartir su experiencia y sabiduría.

### **Ámbar Natividad Márquez Ordóñez**

Con todo el amor de mi corazón agradezco en esta etapa de mi vida, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y paciencia en todo este proceso. A mis padres, Tarcila Jacinta Cruz Ramírez y Santos Gilberto Chamba Túqueres, por sus consejos y enseñanzas. A mi familia, por su apoyo incondicional. A mi tutor de tesis, el Ing. Luis Cedeño, por su invaluable guía y por compartir sus conocimientos. A mi compañera de tesis y ahora amiga, Ámbar Márquez, que confió en mí para este proyecto importante en nuestras vidas. A mi profesora del primer semestre, Linda Cabrera, quien con su mensaje de apoyo me motivó a seguir adelante. A los ingenieros que conocí con mucha admiración y respeto, Fabián C, Gabriela J, Joaquín S, Santiago B, Wilson C, Karen M y Humberto A, por transmitir su sabiduría y exigirme siempre lo mejor de mí. A mis amigas desde primer semestre, con quienes compartí clases, risas, anécdotas y muchos buenos momentos (Vanessa B, Alexi R y Deyamira F). A mis grandes amistades que conocí en el trayecto (Geovanna E, Gissella C, Valeria S, Nathaly M, Denisse J, Diego B, Nicol R, Daniel C, Karelys Z).

### **Andreina Lizbeth Chamba Cruz**

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito estudiar el efecto de las condiciones de modificación en las propiedades fisicoquímicas del almidón de banano (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish.). En la extracción del almidón se empleó el método de molienda húmeda, donde se obtuvo un rendimiento del  $9,671 \pm 1,545$  %, posteriormente se realizó una modificación química por acetilación usando anhídrido acético como agente modificante a diferentes temperaturas de reacción (30, 40 y 50 °C). Luego se evaluó el grado de modificación a través de porcentaje de grupos acetilo y grado de sustitución; además, la composición química (porcentajes de hidratos de carbono, proteína, grasas, humedad, cenizas y fibra cruda) y las propiedades físicas (poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua, capacidad de retención de aceite, índice de absorción de agua, densidad aparente y sinéresis) de los almidones acetilados a distintas temperaturas en comparación con su contraparte nativa. Se demostró que al incrementar la temperatura de reacción hubo un incremento en el porcentaje de grupos acetilo (% AC) y grado de sustitución ( $p \leq 0,05$ ), alcanzando valores de (%AC) de  $3,3104 \pm 0,3826$  % y valores de grado de sustitución (GS) de  $0,1289 \pm 0,0154$  respectivamente, caso similar que sucedió con los porcentajes de ceniza, lípidos, proteínas, fibra, humedad ( $p \leq 0,05$ ), caso contrario se reportó en Hidratos de carbono, evidenciando que las condiciones de reacción y las variedades afectan la composición química de los almidones acetilados. Por otro lado, las propiedades funcionales como poder de hinchamiento, índice de solubilidad de agua e índice de absorción de agua, se evidencio que los almidones nativos sometidos a temperaturas máximas de reacción (50 °C) alcanzaron los valores más altos de modificación, cuando se sometieron a temperaturas de 90 °C; en tanto que su capacidad de retención de aceite se incrementó ( $p \leq 0,05$ ); lo opuesto sucedió en la densidad aparente ( $p \leq 0,05$ ) la densidad aparente disminuía al alcanzar la temperatura máxima de reacción de (50 °C). Ante la refrigeración los almidones acetilados se comportaron de forma que disminuye el grado de retrogradación en el transcurso de los días evidenciando mayor estabilidad a la refrigeración en almidones acetilados a una temperatura de reacción de 50 °C.

**Palabras clave:** almidón nativo, acetilación del almidón, grupos acetilo, propiedades funcionales, escala de madurez.

## **Abstract**

The present research work aims to study the effect of modification conditions on the physicochemical properties of banana starch (*Musa* spp. AAA subgroup Cavendish). In the starch extraction process, the wet milling method was used, yielding a recovery rate of  $9.671 \pm 1.545$  %. Subsequently, a chemical modification was carried out through acetylation, using acetic anhydride as the modifying agent at different reaction temperatures (30, 40, and 50°C). The degree of modification was evaluated based on the percentage of acetyl groups and the degree of substitution. Additionally, the chemical composition (percentages of carbohydrates, protein, fats, moisture, ash, and crude fiber) and physical properties (swelling power, water solubility index, oil retention capacity, water absorption index, bulk density, and syneresis) of the acetylated starches were analyzed at different temperatures and compared to their native counterparts. The increasing of the reaction temperature led to a significant increase in the percentage of acetyl groups (% AC) and the degree of substitution ( $p \leq 0.05$ ), reaching values of %AC of  $3.3104 \pm 0.3826$ % and degree of substitution of  $0.1289 \pm 0.0154$ , respectively. A similar trend was observed for ash, lipids, proteins, fiber, and moisture content ( $p \leq 0.05$ ). In contrast, carbohydrate content decreased, indicating that reaction conditions and varieties affect the chemical composition of acetylated starches. Regarding functional properties, such as swelling power, water solubility index, and water absorption index, it was observed that native starches subjected to maximum reaction temperatures (50°C) achieved the highest modification values when exposed to temperatures of 90°C. Meanwhile, their oil retention capacity increased significantly ( $p \leq 0.05$ ). Conversely, bulk density decreased as the maximum reaction temperature (50°C) was reached ( $p \leq 0.05$ ). During refrigeration, acetylated starches exhibited reduced retrogradation over time, demonstrating greater stability under refrigeration for starches acetylated at a reaction temperature of 50°C.

**Keywords:** Native starch, starch acetylation, acetyl groups, functional properties, maturity scale.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	10
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I</b> .....	13
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	13
<b>1.1 Banano</b> .....	13
1.1.1 Generalidades .....	13
1.1.2 Composición Nutricional .....	14
1.1.3 Escala de Maduración del Banano .....	14
<b>1.2 Almidón de Banano</b> .....	15
1.2.1 Generalidades .....	15
<b>1.3 Propiedades funcionales del almidón de banano</b> .....	18
1.3.1 Poder de hinchamiento .....	19
1.3.2 Índice de absorción de agua .....	19
1.3.3 Índice de solubilidad de agua .....	20
1.3.4 Capacidad de absorción de aceite .....	20
1.3.5 Sinéresis .....	20
1.3.6 Temperatura de gelatinización .....	21
<b>1.4 Métodos de modificación de almidones</b> .....	21
1.4.1 Modificación Química .....	21
1.4.2 Propiedades de los Almidones Acetilados .....	23
<b>CAPÍTULO II</b> .....	24
<b>METODOLOGÍA</b> .....	24
<b>2.1 Obtención y modificación química del almidón de banano</b> .....	24
2.1.1 Diseño Experimental .....	24
2.1.2 Extracción del almidón .....	24
2.1.3 Acetilación del almidón .....	25
2.1.4 Determinación de grupos acetilo (Ac) y grado de sustitución (GS) .....	26
<b>2.2 Determinación de la Composición Proximal</b> .....	26
<b>2.3 Determinación de las propiedades funcionales del almidón</b> .....	27

2.3.1 Determinación Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH).....	27
2.3.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc).....	27
2.3.3 Sinéresis .....	28
<b>2.4 Determinación de la Densidad aparente .....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Rendimiento de la extracción del almidón.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Efecto de las condiciones de reacción en la modificación de almidón de banano Cavendish .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Valoración del grado de modificación de porcentajes de acetilo y grado de sustitución .....	29
<b>3.3 Valoración de la Composición Proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Composición proximal del almidón nativo y acetilado .....	31
<b>3.4 Valoración de las propiedades funcionales de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.....</b>	<b>35</b>
3.4.1 Propiedades funcionales del almidón .....	35
3.4.2 Capacidad de Retención de Aceite .....	37
3.4.3 Sinéresis .....	39
<b>3.5 Impacto de la temperatura de reacción sobre las propiedades físicas de los almidones obtenidos por acetilación.....</b>	<b>40</b>
3.5.1 Densidad Aparente.....	40
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del banano .....	13
<b>Tabla 2.</b> Características del banano Cavendish .....	14
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento de la extracción de almidón de banano <i>Cavendish</i> .....	29
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de acetilo y Grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción.....	30
<b>Tabla 5.</b> Composición proximal del almidón nativo y acetilado a diferentes temperaturas de reacción.....	31
<b>Tabla 6.</b> Capacidad de retención de aceite.....	38
<b>Tabla 7.</b> Densidad Aparente de los almidones acetilados.....	40



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Escala de Maduración de Von Loesecke .....	15
<b>Figura 2.</b> Estructura del almidón .....	16
<b>Figura 3.</b> Estructura química de la amilosa .....	17
<b>Figura 4.</b> Estructura química de la amilopectina .....	18
<b>Figura 5.</b> Imágenes SEM de almidones nativos de banano, árbol del pan y arrurruz (aumento de 1000×) .....	15
<b>Figura 6.</b> Principio básico de la reacción de acetilación mediante la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón por grupos acetilo .....	23
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de la extracción de almidón .....	24
<b>Figura 8.</b> Media de Fisher LDS del Porcentaje de Acetilo y Grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción .....	31
<b>Figura 9.</b> Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de Fibra, Carbohidratos y Ceniza.....	33
<b>Figura 10.</b> Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de lípidos, proteínas y humedad.....	35
<b>Figura 11.</b> Influencia de la temperatura sobre el Poder de Hinchamiento (PHi), Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA).....	36
<b>Figura 12.</b> Impacto de la temperatura de reacción en la capacidad de retención de aceite (CRAc) .....	38
<b>Figura 13.</b> Influencia de la temperatura de reacción en la Sinéresis de los almidones según los días de almacenamiento .....	39
<b>Figura 14.</b> Influencia de la temperatura de reacción en la Densidad Aparente de los almidones.....	41

## INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los productos agrícolas de mayor exportación en el Ecuador, siendo que según la FAO (2023), se registró un total de exportaciones de aproximadamente 7,1 millones de toneladas, sin embargo aproximadamente el 10 % es rechazado al no cumplir con los requisitos de calidad necesarios para su exportación como forma, tamaño y apariencia, y es por tanto que se han venido buscado nuevas alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de esta fruta generados en el sector bananero con el fin de brindar valor agregado (Amaya, 2019).

El banano de la variedad (*Musa spp. AAA subgrupo Cavendish*) es una fruta ampliamente comercializada en la provincia de El Oro, Ecuador. En su estado maduro es rico en hidratos de carbono, minerales, fibra y vitaminas, mientras que en su estado inmaduro en su composición interna presenta un alto contenido de almidón, este cuenta con cantidades elevadas de fibra (Salazar et al., 2022).

El almidón es un polisacárido de  $\alpha$ -glucosa unida por cadenas simples lineales  $\alpha$ -(1-4) y enlaces  $\alpha$ -(1-6) en los puntos ramificados, principalmente en la amilopectina, aunque algunos  $\alpha$ -(1-6) están presentes en el componente esencialmente lineal, que es la amilosa, la forma del gránulo de almidón dependerá de su fuente botánica siendo que para el caso del almidón de banano este es irregular, alargado y de forma redonda/esferoidal (Moreno et al., 2024).

Sin embargo, el almidón nativo no es tan resistente a la exposición de altas temperaturas o cambios bruscos de pH para ampliar sus aplicaciones tecnológicas, por tanto, realizar una modificación química genera en el almidón mayor resistencia y estabilidad a diversas condiciones como variaciones de temperaturas (Aguilar, 2021). Según Cedeño et al., (2021) el volumen de anhídrido acético y el tiempo de reacción afectan significativamente el porcentaje de grupos acetilo y su grado de sustitución, mostrando mayor poder de hinchamiento, solubilidad en agua e índice de absorción de agua que el almidón nativo de banano.

Por lo mencionado anteriormente el presente trabajo de investigación tiene como objetivo brindar información acerca de cómo la variación de temperatura como condición de reacción puede influenciar en las propiedades fisicoquímicas de los almidones acetilados.

## **PROBLEMÁTICA**

Los almidones nativos son aquellos no han sufrido alguna modificación o tratamiento químico, es totalmente digerible por el ser humano y constituye la reserva energética de los vegetales y tubérculos compuestos por amilosa y amilopectina que son las que le confieren sus propiedades funcionales (Paz, 2024), sin embargo este polisacárido expone diversas debilidades como su facilidad para retro degradarse, alta viscosidad, escasa estabilidad térmica, limitada resistencia a la congelación y descongelación, baja tolerancia a su procesamiento y la opacidad del gel, todas estas características limitan la aplicación del almidón tanto en la industria alimentaria como en otras industrias (López et al., 2024).

Otros de los factores que limitan la aplicación comercial del almidón nativo son su hidrofiliidad, limitadas propiedades térmicas y mecánicas, rápida degradabilidad y enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares resistentes de las cadenas del almidón (Cedeño et al., 2023).

Por tanto, la modificación del almidón puede resultar una alternativa eficaz para alterar las características del almidón nativo con el fin de mejorar sus propiedades como la retención de agua, aceite, sinéresis, propiedades funcionales y características termodinámicas, existen diversas formas para modificar el almidón como los métodos físicos, químicos y enzimáticos, siendo la modificación química por acetilación la más empleada (Sindhu et al., 2021).

## JUSTIFICACIÓN

La modificación química es una de las más se empleadas para la modificación del almidón nativo ya que contribuye en la mejora de varias de sus propiedades como la estabilidad molecular, resistencia contra el cizallamiento, viscosidad y tasa de retrogradación, dentro de los tipos de modificación química que existen encontramos la hidrólisis ácida, la reticulación, el injerto de almidón, la modificación dual, la oxidación y la acetilación/esterificación, de las cuales la acetilación es el mayormente empleado para la estabilización del almidón, donde por medio de la esterificación del almidón nativo con anhídrido acético, vinil acetato o ácido acético se obtiene acetato de almidón, dicho método consiste en la sustitución de los grupos hidroxilo de las cadenas principales del almidón con grupos acetilo, que consecuentemente forman enlaces covalentes en lugar de enlaces de hidrógeno, lo que se traduce en un incremento en la hidrofobicidad y una textura más dura en comparación con el almidón nativo (Navarrete et al., 2023).

En la acetilación el número de grupos acetilos que se podrán integrar en la molécula dependerá de diversos factores como el origen botánico del almidón, concentración y naturaleza del reactivo, tiempo de reacción, pH y del catalizador presente en la reacción, este tipo de modificación alteran significativamente las propiedades del almidón siendo que disminuyen la temperatura de gelatinización y mejoran la estabilidad térmica sin embargo estas propiedades se encuentran estrechamente vinculadas con el número de grupos acetilos presente en la molécula del almidón (Túquerres, 2021).

Otras ventajas de este proceso de acetilación incluyen el incremento de la capacidad de hinchamiento, la capacidad de absorción de agua, las propiedades de pegado, y aumentó considerablemente de la solubilidad del almidón nativo, además de que los almidones acetilados presentan una mayor estabilidad a la retrogradación y al proceso de congelación-descongelación en comparación con el almidón nativo (Marta et al., 2022).

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

Estudiar las condiciones de modificación por acetilación del almidón de Banano variedad (*Musa spp. AAA subgrupo Cavendish.*) y sus efectos en sus propiedades fisicoquímicas.

### Objetivos Específicos:

- Evaluar el rendimiento de obtención del almidón de Banano variedad (*Musa spp. AAA subgrupo Cavendish.*) mediante molienda Húmeda.
- Identificar el efecto del incremento de temperatura en las condiciones de obtención de almidones acetilados.
- Valorar la composición proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas de reacción.
- Determinar el comportamiento de sus propiedades funcionales y densidad aparente de los almidones obtenidos por acetilación.

# CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

## 1.1 Banano

### 1.1.1 Generalidades

El banano es una fruta tropical conocida a nivel mundial con distintos nombres, esta se originó en el Sudeste asiático, en distintas regiones de la India, es originario de una planta herbácea, perteneciente a las plantas monocotiledóneas y a la familia de las musáceas, el peso aproximado del banano va de 100 a 200 gramos, contiene una piel carnosa y gruesa de un tono amarillo mientras que su pulpa se identifica por su coloración blanca o de un tono amarillo pálido (Armijos et al., 2023).

### Tabla 1

Clasificación taxonómica del banano

Taxonomía del banano	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Musaceae</i>
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>M. paradisiaca</i>

Fuente: (Ricardo, 2022)

El banano se divide en distintas especies, unas utilizadas para el consumo humano y otras utilizadas para alimentación de ganadería, mientras que, existen otras variedades que son frutas más carnosas, el cual, en estas se encuentran varios grupos de diploides (*AA* y *AB*) y triploide (*AA*, *AAB* y *ABB*), en el grupo triploide *AAA* se encuentra el subgrupo *Gran Cavendish*, que es la variedad más exportada en el Ecuador (Martins et al., 2022).

El banano tiene diferentes variedades de cultivo con el género *Musa* que tiene como subgrupo al *Cavendish*, en la producción mundial está representando un 43 % y 57 % para consumo alimenticio, la altura de esta variedad de banano es aproximadamente entre 2,8 metros a 3 metros, siendo la planta más vigorosa y alta lo que genera un buen tamaño del fruto, se caracteriza por su pseudotallo alto, hojas anchas y frutos medianos de excelente calidad, el cultivo desde su crecimiento es resistente a la raza 1 del hongo *Fusarium oxysporum* que es tolerante al viento y a la sequía, por otro lado la pulpa tiene más propiedades químicamente hablando, se destaca la concentración del potencial de hidrógeno, acidez titulable, sólidos solubles que son los grados Brix y composición nutricional (Barrezueta et al., 2024).

**Tabla 2**

*Características del banano Cavendish*

<b>Variedad</b>	<b>Banano Cavendish</b>
Clase	“A” Premium Class
Tamaño de los dedos	18 cm mínimo
Calibre	Mínimo 39 mm, máximo 46 mm
Cluster	Mínimo 3 dedos, máximo 7 dedos
Edad de la fruta	Mínimo 10 semanas, máximo 12 semanas

**Fuente:** (Padilla, 2021)

*1.1.2 Composición Nutricional*

La composición química del banano depende de diversos factores como la variedad, estado de madurez y condiciones ambientales en las que se encuentre, el principal constituyente del banano verde o en estado de inmadurez es el almidón, sin embargo también es una fuente de proteína, lípidos, fibra y sustancias antioxidantes, como los polifenoles, por otro lado el contenido de pulpa del banano representa aproximadamente el 60% del peso total de la fruta mientras que la cáscara constituye el 40% restante y contiene una cantidad considerable de fibra además de almidón, proteína cruda, ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos esenciales y micronutrientes (Raza, 2019).

*1.1.3 Escala de Maduración del Banano*

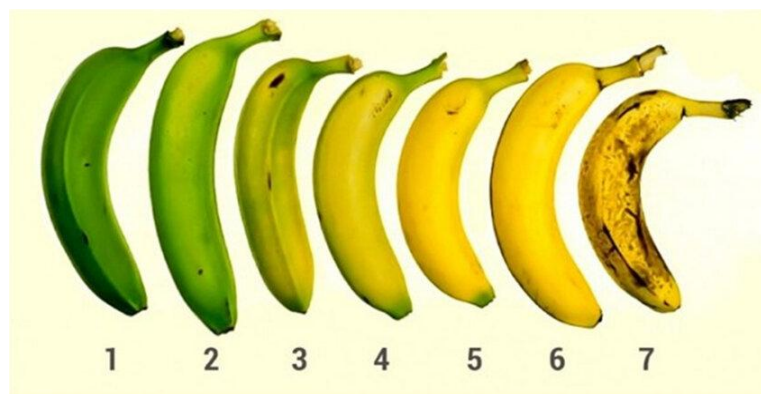
El banano durante el proceso de maduración sufre de distintos cambios que incluyen la conversión de almidón a azúcares en la pulpa, degradación enzimática de carbohidratos

estructurales, degradación de clorofila y polifenoles, biosíntesis de sustancias aromáticas y carotenoides, además de un aumento en el contenido de aminoácidos, ácidos orgánicos y dopamina, los cuales influyen de manera directa en la calidad de la fruta en atributos como el color, la textura, el sabor, el aroma y los metabolitos secundarios (Liu et al., 2021).

Además, el proceso de maduración del banano se encuentra estrechamente ligado a una variación de color que va de verde a amarillo, siendo el desvanecimiento del color verde el principal indicador del comienzo de la maduración de esta fruta el cual se da por la degradación de las clorofilas, una de las causas principales de esta degradación se deben a las variaciones de pH mismas que se dan como consecuencia de la filtración de los ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, además, el aumento de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas contribuyen de igual manera a las variaciones de pH (Pisco y Vladimir, 2024).

## Figura 1

*Escala de Maduración de Von Loesecke*



Fuente: (Franco et al., 2023)

## 1.2 Almidón de Banano

### 1.2.1 Generalidades

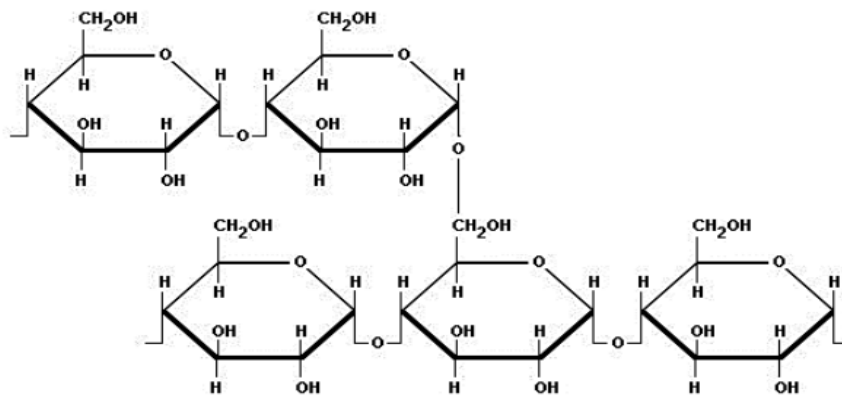
El almidón de banano es un carbohidrato cuya concentración varía de acuerdo con el estado de madurez de dicha fruta siendo que en estado verde o inmaduro este constituye la mayor parte de hidratos de carbono sin embargo conforme la fruta se va madurando el polisacárido es hidrolizado por efecto de las amilasas y por medio de otros sistemas enzimáticos es sintetizada la sacarosa y fructosa que son características en el banano maduro (Rosero y Villa, 2021).



Las fracciones de almidón se pueden clasificar en tres categorías distintas que son almidón de digestión rápida (RDS; fracción digerida en 20 min), almidón de digestión lenta (SDS; fracción digerida entre 20 y 120 min) y almidón resistente (RS; fracción no digerida después de 120 min), dependiendo de sus tasas de digestión (Qiao et al., 2024).

## Figura 2

### *Estructura del almidón*



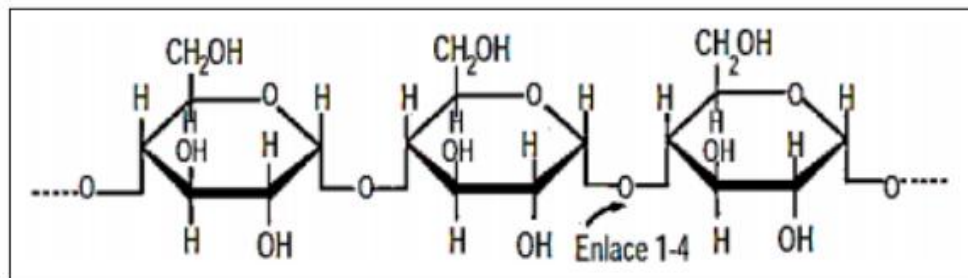
**Fuente:** (Alegría y Farrera, 2022)

La amilosa es un polímero conformado por monómeros de glucosa ligados únicamente por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4, con un peso molecular aproximado entre 105 – 106 Da, presenta una estructura helicoidal la cual en el interior contiene átomos de hidrógeno mismos que le confieren propiedades hidrofóbicas, en tanto que los grupos hidroxilos permanecen en el exterior, por otro lado es el principal responsable de la retrogradación y viscosidad del almidón y es capaz de formar complejos tanto con ácidos grasos libres como con componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y ciertos alcoholes (Pérez, 2022).

Además, cabe mencionar que la amilosa también facilita la formación de redes tridimensionales comúnmente conocidas como geles, por lo tanto, un contenido elevado de amilosa forma geles resistentes, que al lixiviar por el proceso de gelatinización ocasiona la disrupción de la estructura del gránulo (Martínez et al., 2022).

**Figura 3**

*Estructura química de la amilosa*



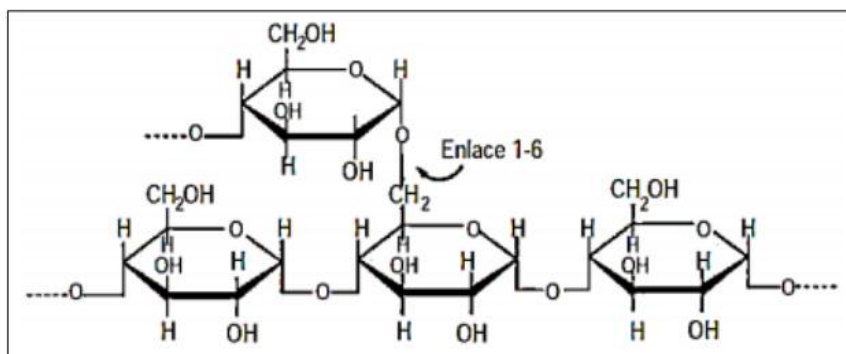
Fuente: (Delgado, 2024)

La amilopectina es una molécula ramificada con puntos de ramificación unidos por enlaces  $\alpha$ -(1-6) y regiones lineales de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -(1-4), en el almidón, la amilopectina es el componente principal y constituye la región cristalina del gránulo, el grado de polimerización de las cadenas de amilopectina se encuentran relacionadas con las características fisicoquímicas, como la tendencia a retrogradar, la temperatura y la entalpía de gelatinización (Méndez et al., 2022).

Las cadenas de la amilopectina se hallan dispuestas de forma radial en el interior del gránulo del almidón con sus extremos terminales no reductoras orientadas hacia la superficie, con alternancia de zonas cristalinas (doble hélice) y zonas amorfas (puntos de ramificación), además la amilopectina posee de 10 a 60 unidades de glucosa y en las cadenas laterales de 15 a 45 unidades de glucosa con un promedio de 5 % de los enlaces  $\alpha$  (1-6) en puntos ramificados (Pérez, 2022).

**Figura 4**

*Estructura química de la amilopectina*



Fuente: (Delgado, 2024)

Es utilizado en diferentes industrias debido a sus propiedades y estructura de fibras celulares, en la industria alimentaria es mayormente usado como espesante, estabilizante y gelificante también es usado en la elaboración de recubrimientos ya que ayuda en la mejora de la tensión a la fractura, la flexibilidad y reduce la permeabilidad en frutas y vegetales (Hipo, 2023).

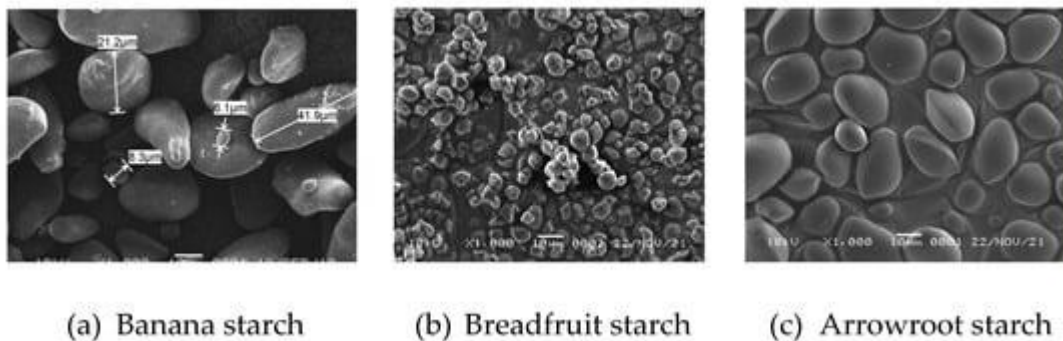
El almidón nativo se produce en partículas diminutas y discretas denominadas «gránulos» con un diámetro aproximado de 1 a 100  $\mu\text{m}$ , dependiendo de la fuente vegetal, así también los gránulos de almidón presentan diferencias en términos de propiedades morfológicas, composición química, ubicación e interacciones con componentes no amiláceos cuando se obtienen de diferentes fuentes, por otro lado además del almidón como componente principal (98 - 99 %), los gránulos de almidón también contienen una pequeña cantidad de proteínas, lípidos, pentosanos y minerales (Majzoobi y Farahnaky, 2021).

Los gránulos de almidón de banano generalmente son irregulares, alargados y de forma redonda/esferoidal, las diferencias que existen en la forma de las partículas de los almidones de diferentes variedades de plátano son atribuidas a la genética y las condiciones de crecimiento (Marta et al., 2022).

En la figura 2 se puede observar que el tamaño de los gránulos de almidón de banano es mayor que el de los almidones de fruta pan ( $<10 \mu\text{m}$ ) y sorgo (4–35  $\mu\text{m}$ ).

### Figura 5

*Imágenes SEM de almidones nativos de banano, árbol del pan y arrurruz (aumento de 1000 $\times$ ).*



Fuente: (Marta et al., 2022)

### 1.3 Propiedades funcionales del almidón de banano

Dentro de las propiedades funcionales de los almidones encontramos principalmente la solubilidad, la absorción de agua y el poder de hinchamiento estas determinan la proporción de

almidón seco disuelto en agua para el caso de la solubilidad mientras que la absorción de agua nos indica el volumen de agua que es capaz de absorber el almidón por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua, por último el poder de hinchamiento refleja el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón al ser sometidos a un proceso de calentamiento (Contreras et al., 2018).

Las propiedades funcionales del almidón pueden verse afectadas significativamente debido a factores como la cantidad de amilosa, la distribución de las cadenas ramificadas en la amilopectina, la arquitectura granular, la cantidad de fosfolípidos, fosfato-monoéster y lípidos (Bashir y Aggarwal, 2019).

### *1.3.1 Poder de hinchamiento*

El poder de hinchamiento en el almidón es proporcional a la magnitud de la fuerza de interacción entre las moléculas de almidón y las moléculas de agua, esta propiedad exhibe el grado de unión de los enlaces internos de las partículas de los gránulos de almidón, indicando la capacidad que tienen los gránulos de almidón de ligar agua, siendo así que la región amorfa es la que se hincha primero, indicando así su calidad y afectaciones directamente a la gelatinización (Mutis, 2019).

Esta propiedad se puede ver afectada por tratamientos térmicos, dado que cuando las suspensiones de almidón se someten a temperaturas elevadas provoca que las dobles hélices de la amilopectina en el gránulo se desmonten lo que hace que se hinchen más rápido, sin embargo, el contenido de amilosa dentro del gránulo de almidón puede reducir el poder de hinchamiento (Aidoo et al., 2022).

### *1.3.2 Índice de absorción de agua*

La capacidad de absorción de agua (IAA) es un indicador de la cantidad máxima de agua que un almidón puede absorber o retener, este dato puede verse variado por distintos factores como el momento de cosecha, de la materia prima, la fuente botánica o la ubicación geográfica, por otro lado una elevada capacidad de absorción de agua en el almidón nativo y acetilado nos indica que el polímero del almidón presenta una estructura más suelta mientras que una menor capacidad de absorción de agua indica por el contrario una estructura más compacta del polímero del almidón (Aidoo et al., 2022).

Además, la capacidad de absorción de agua del almidón se puede ver afectada por la temperatura siendo que un incremento de temperatura provoca un aumento de la misma debido a que se da un desdoblamiento de las regiones con doble hélice del almidón lo que consecuentemente afecta la estructura de la amilopectina, y destruye las fuerzas internas granulares en la región amorfa (Vergara y Melina, 2023).

### *1.3.3 Índice de solubilidad de agua*

La solubilidad nos indica una alta concentración de un soluto que puede disolverse en un disolvente específico, a una temperatura especificada, el índice de solubilidad en agua también conocido por sus abreviaturas (ISA) constantemente para las investigaciones este se usa como detector de degradación de componentes moleculares del almidón, el ISA continuamente mide la cantidad de componentes solubles libres del almidón posterior a un cambio de temperatura mayor, dando a entender que implica el grado de gelatinización del mismo, así se puede medir el grado de conversión de almidón durante el cambio a distintas temperatura, que corresponden a la cantidad de polisacáridos solubles liberados del gránulo de almidón (Huamani et al., 2020).

### *1.3.4 Capacidad de absorción de aceite*

La capacidad de absorción de aceite (OAC) es la unión de la grasa por medio de la cadena lateral no polar de las proteínas, esta propiedad es un parámetro muy importante para determinar la capacidad de retención de sabor de las harinas y almidones, se puede ver afectada por la diferencia en los componentes hidrófilos siendo que cuanto mayor sea el contenido de componentes hidrófilos (carbohidratos y proteínas), menor será la capacidad de absorción de aceite, y viceversa (Aidoo et al., 2022).

### *1.3.5 Sinéresis*

La sinéresis conocida como retrogradación es un cambio físico o coloidal que se da por la cristalización de los polímeros generando una asociación de tipo cristalino en la amilosa lo que se traduce en pérdida de agua desde la superficie de los compuestos del almidón, este fenómeno ocurre principalmente en los geles de almidón cuando se someten a procesos de congelación/descongelación, la sinéresis es descrita también como el comportamiento de recristalización de los almidones que son gelatinizados durante enfriamiento y almacenamiento, proceso que incluye el endurecimiento y posterior filtración de agua del gel del almidón (Ramírez, 2023).

### *1.3.6 Temperatura de gelatinización*

La gelatinización es un proceso en el cual el almidón es calentado a temperaturas elevadas en exceso de agua lo que provoca la lixiviación de la amilosa y el hinchamiento del gránulo dando como consecuencia la desaparición de la estructura cristalina de doble hélice y la pérdida de birrefringencia, sin embargo hay que tener en cuenta que la temperatura a la que se da la gelatinización puede variar dependiendo de varios factores como la variedad del banano en el caso del almidón de banano (Fonseca et al., 2021). La temperatura de gelatinización es la temperatura a la que tiene lugar la gelatinización del almidón se encuentra comúnmente en rangos de temperaturas de entre 55 y 80 °C dependiendo de la variedad de almidón y también de si se encuentra en su estado nativo o si fue modificado, ya que el almidón al ser modificado suele presentar temperaturas menores de gelatinización esto debido a que ocurre una fragmentación en la estructura del gránulo de almidón debida a la incorporación de los grupos acetilo en su molécula (Vergara et al., 2023).

## **1.4 Métodos de modificación de almidones**

La modificación del almidón se puede dar de distintas maneras las cuales pueden ser químicas, físicas, enzimáticas o por una combinación de las mismas las cuales mejoran las aplicaciones del almidón a nivel comercial causando cambios en su estructura, las modificaciones físicas son comúnmente efectuadas mediante tratamientos térmicos como baños de agua caliente, uso de vapor, tratamientos empleando ozono, irradiaciones y con microondas, por otro lado, los almidones modificados enzimáticamente puede cambiar la estructura molecular del almidón, reduciendo la capacidad de retención de agua e higroscopicidad en el almidón y presentando un mejor comportamiento en tratamientos térmicos (Hernández, 2021). En la modificación física del almidón no se ve afectada la estructura química del almidón sin embargo en el caso de la modificación química hay una introducción de un grupo funcional en los gránulos de almidón, estos almidones modificados son utilizados ampliamente en varias industrias, como la alimentaria, farmacéutica, papelera y textil (Sinhmar et al., 2023).

### *1.4.1 Modificación Química*

La modificación química del almidón está relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero del almidón, esta técnica química es una de las más empleadas e implica la inclusión de un grupo funcional que mejora aún más las propiedades intrínsecas, de pegado y reológicas de los almidones, algunos tipos de modificaciones químicas son las reacciones vía

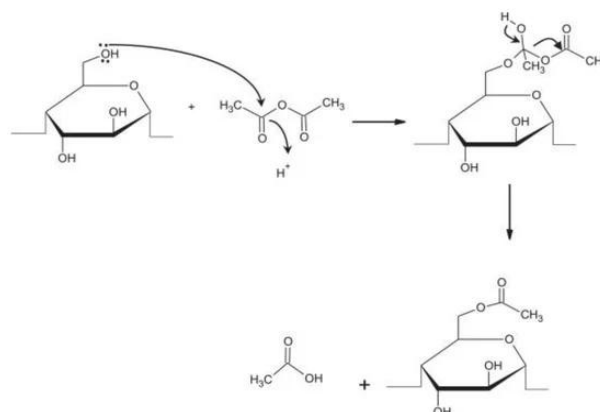
éter, formación de ésteres, oxidación, acetilación y las hidrólisis de los grupos hidroxilos (Nwakego et al., 2022).

La acetilación es un proceso de esterificación indirecta, por lo que es necesario agregar un catalizador para que la reacción tenga lugar, el principio básico de esta reacción es la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón con grupos acetilo como se muestra en la figura 1, cuanto más grupo hidroxilo libres se sustituyan con grupos acetilo, mayor será el grado de sustitución (Subroto et al., 2023). En este proceso tanto la cantidad de grupos acetilo añadidos a la molécula como la velocidad y eficiencia de la reacción, se encuentran influenciados por diferentes factores como la concentración y tipo del reactivo, el pH, la temperatura, el método de extracción de almidón y las características de la estructura del gránulo nativo (Ventura et al., 2024).

Los almidones acetilados exhiben propiedades funcionales mejoradas en comparación con el almidón nativo, como baja temperatura de gelatinización, alta solubilidad, estabilidad a la congelación y descongelación y estabilidad al almacenamiento, dentro de los principales reactivos utilizados para la acetilación del almidón se encuentran el ácido acético, anhídrido acético, acetato de vinilo o una combinación (Kaushik et al., 2024). El grado de sustitución indica el promedio del número de sustituciones por unidad de anhidroglucosa en el almidón y se encuentra relacionado con la modificación química, el mayor grado de sustitución que puede haber es de 3 debido a que se exhiben tres grupos hidroxilos disponibles por unidad de anhidroglucosa (Carrillo, 2024).

## Figura 6

*Principio básico de la reacción de acetilación mediante la sustitución de grupos hidroxilo libres de almidón por grupos acetilo*



**Fuente:** (Subroto et al., 2023)

#### *1.4.2 Propiedades de los Almidones Acetilados*

Los almidones acetilados exhiben un sin número de propiedades que los hacen atractivos para su aplicación industrial siendo una de sus características principales su poder para iniciar el proceso de gelatinización a temperaturas relativamente más bajas en contraste con el almidón nativo, otra propiedad destacada de estos almidones es su baja tendencia a la retrogradación durante el enfriamiento (Carrillo, 2024).

Las funciones que presenta el almidón acetilado van a depender del grado de sustitución siendo así que valores bajos de grado de sustitución (0,01-0,2) se traducen en un incremento en el poder espesante del almidón acetilado y una mayor estabilidad a temperaturas inferiores además cabe mencionar que la acetilación de los almidones mejora las propiedades funcionales del almidón nativo como su capacidad de absorción de agua, solubilidad del almidón y poder de hinchamiento (Liu et al., 2022).



## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

### **2.1 Obtención y modificación química del almidón de banano**

#### *2.1.1 Diseño Experimental*

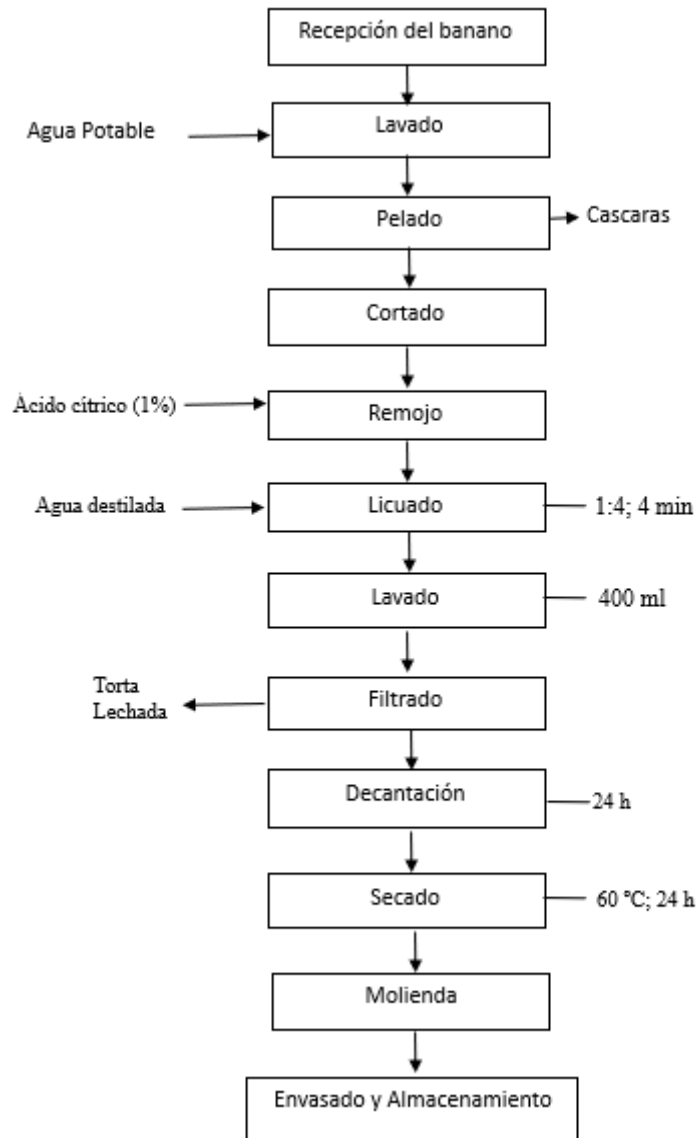
El presente trabajo de investigación es de carácter experimental. Se extrae el almidón de banano mediante molienda húmedo donde se aplicaron 5 tratamientos en la cual se evaluaron el rendimiento de la extracción con su desviación estándar y correspondiente coeficiente de variación; para la modificación por acetilación se valoró el efecto del incremento de las temperaturas de reacción en el grado de modificación, composición proximal y sus propiedades físicas, funcionales y térmicas a través de un ANOVA de un solo factor.

#### *2.1.2 Extracción del almidón*

Los bananos (*Musa spp. AAA subgrupo Cavendish*) fueron adquiridos directamente de las haciendas productoras de la parroquia La Iberia, cantón El Guabo de la provincia de El Oro, en estado verde o con un índice de madurez 1 de acuerdo con la escala de maduración de Von Loesecke. La extracción del almidón se basa en Dávila, (2014) para el cual se retira la cáscara de los bananos, se cortan en trozos de 2 - 3 cm de largo los cuales se sumergieron en una disolución de con ácido cítrico al 1 % (p/v) en relación 1:4, haciendo uso de una licuadora casera de marca Oster a máxima velocidad de 3600 min<sup>-1</sup> durante 4 minutos. Posteriormente la torta se filtró en un lienzo y se lavó con 400 mL de agua destilada por 5 veces y se dejó sedimentar. Fue secado a 60 °C durante 24 horas, se sometió a molienda fina de mantener la granulometría uniforme se hizo pasar por tamiz malla 250 µM y finalmente se almacenó en frascos de color ámbar.

### **Figura 7**

*Diagrama de flujo de la extracción de almidón*



### 2.1.3 Acetilación del almidón

El proceso de modificación del almidón fue realizado utilizando la metodología descrita por Salcedo-Mendoza et al., (2016); con algunas modificaciones, para ello se pesaron 30 gramos los cuales se disolvieron en 100 mL de agua destilada, agitando durante 30 minutos. Posteriormente se añadieron 5 mL de anhídrido acético gota a gota a la suspensión agitada, manteniendo el pH dentro del intervalo de 8 a 8,4 usando una solución de NaOH al 3 % (p/v), esta reacción se mantuvo por 30 minutos a temperaturas de 30, 40 y 50 °C. Una vez culminado el tiempo de reacción, la suspensión se ajusta a un pH de 4,5 usando HCl 0,5 N. El almidón obtenido fue lavado dos veces con agua destilada y centrifugado en una centrífuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) a 5000 rpm por 10 minutos, después se realiza un

tercer lavado con etanol al 96 % (p/v). Posteriormente, el almidón es secado en un horno a 70 °C durante 24 horas, se pasa a molienda y tamizado con un tamiz malla de 250 µM.

#### 2.1.4 Determinación de grupos acetilo (Ac) y grado de sustitución (GS)

La determinación del porcentaje de grupos acetilo y el grado de sustitución se realizó empleando el método descrito por Salcedo-Mendoza et al. (2016). Para el cálculo del porcentaje de los grupos acetilo se pesaron 1 gramo de almidón modificado en base seca que fue transferido a un matraz Erlenmeyer de 250 mL en el que se le agregaron 50 mL de agua destilada y dos gotas de fenolftaleína. Se neutralizó la muestra utilizando NaOH al 0,1 N, posteriormente se agregaron 25 mL de NaOH a 0,45N agitando la muestra por 30 minutos. Las muestras saponificadas fueron tituladas con HCl 0,8 N utilizando fenolftaleína como indicador, valorando de manera conjunta un blanco de almidón nativo. El porcentaje de grupos acetilos (Ac%) sustituidos, se calculó basado en el volumen del ácido consumido como se muestra en la Ec. (1).

$$\text{Acetilos (\%)} = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) \cdot (N \text{ HCl} \cdot 0,043 \cdot 100)}{g \text{ muestra (b.s.)}} \quad (\text{ec 1})$$

donde:

0,043 = corresponde a los miliequivalentes del grupo acetilo.

HCl = Ácido clorhídrico

El grado de sustitución (GS) es el número promedio de grupos acetilos introducidos por unidad de anhidroglucosa y fue determinado mediante la ecuación 2 (ec 2)

$$\text{Grado de Sustitución (GS)} = \frac{(162) \cdot \text{Acetilo (\%)}}{4300 - [42 \cdot \text{Acetilo (\%)}] } \quad (\text{ec2})$$

dónde 162 corresponde a la masa molar de la unidad anhídrido glucosa.

## 2.2 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 DHUMAS para el cálculo del

porcentaje de proteínas, 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 y por último para la valoración del carbohidrato se delimitó a través de una operación matemática por diferencia de componentes

## 2.3 Determinación de las propiedades funcionales del almidón

### 2.3.1 Determinación Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

La determinación de IAA, ISA y PH se realizó mediante la metodología propuesta por Salcedo-Mendoza et al. (2016) con ligeras modificaciones, se pesó 1 gramo de almidón en base seca y se depositó en un tubo de centrifuga al cual se adicionaron 25 mL de agua destilada, seguido se colocó la suspensión en un baño maría a temperaturas de 50, 60, 70, 80 y 90°C durante 30 minutos, transcurridos 10 minutos de iniciado el calentamiento se agitó la muestra manualmente. Finalizado el tiempo la muestra fue llevada a una centrifuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) a 4900 rpm durante 30 minutos. Seguidamente, se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). Posteriormente se tomó una muestra de 10 mL del sobrenadante y se depositó en una caja Petri previamente pesada y se llevó a secado en un horno a 70 °C por 16 h. Por último, se registró el peso de la caja de Petri con el material soluble y del tubo de centrifuga que contenía el gel (almidón insoluble) y se estimaron los valores de IAA, ISA y PH empleando las Ec. (3), (4) y (5), respectivamente.

$$IAA = \frac{\text{peso de gel (g)}}{\text{Peso de la muestra seca (g)}} \quad (\text{ec3})$$

$$ISA = \frac{\text{peso soluble (g)} \times \frac{V}{10}}{\text{Peso de la muestra seca (g)}} \quad (\text{ec4})$$

$$PH = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso soluble (g)}} \quad (\text{ec 5})$$

### 2.3.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc)

Manifiesta la máxima cantidad de retención de aceite en mL por un gramo de muestra (mL/g). La estimación de la capacidad de retención de aceite del almidón se realizará usando el método propuesto por Montoya, (2021) con leves modificaciones. Se pesa 1 gramo de almidón en base

seca y se deposita en un tubo de centrífuga previamente pesado, se adicionan 10 ml de aceite de girasol, posteriormente se pasa a un proceso de agitación por 30 minutos y seguido se lleva a una centrífuga LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos) por 30 minutos a 4800 rpm. Finalmente, se mide el volumen del sobrenadante. El cálculo de la capacidad de retención de aceite se lo realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$CRAc = \frac{v_i - v_f}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad \text{(ec 6)}$$

### 2.3.3 Sinéresis

Para el cálculo de la sinéresis de los almidones se utilizó la metodología descrita por Martínez et al. (2015) con ligeras modificaciones, se preparó suspensiones de agua destilado con almidón al 2 % en base seca en tubos de centrífuga luego estas suspensiones fueron llevadas a baño maría a 85 °C por 30 minutos en la plancha térmica (Faithful, Huanghua, República Popular China), terminado el tiempo se bajó la temperatura hasta los 25 °C. Posteriormente se almacenaron las muestras por 7 días a 4 °C y se centrifugaron a 3500 rpm por 15 min en una centrífuga marca LSE (Corning, Nueva York, Estados Unidos), finalmente se pesó el sobrenadante y se calculó el porcentaje de sinéresis de los días 1, 2, 3, 5 y 7 mediante la ecuación 8.

$$\text{Sinéresis (\%)} = \frac{\text{Peso del sobrenadante (g)}}{\text{Peso de la muestra total (g)}} \times 100 \quad \text{(ec 7)}$$

### 2.4 Determinación de la Densidad aparente

La densidad aparente se determina aplicando la metodología propuesta por Sánchez et al., (2020), la muestra de almidón es depositada en una probeta graduada previamente lavada y secada, hasta el volumen total dando ligeros golpes para compactar bien la muestra, posteriormente se registra el peso total y se estima el valor de a densidad aparente utilizando la posterior ecuación:

$$Dap = \frac{(\text{Peso probeta + almidón suelto}) (g) - \text{Peso probeta vacía (g)}}{25 \text{ ml}} \quad \text{(ec 8)}$$

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Rendimiento de la extracción del almidón

**Tabla 3**

*Rendimiento de la extracción de almidón de banano Cavendish*

Extracción	Peso de la pulpa de banano(g)	Peso del almidón seco(g)	% Rendimiento
1	453,592	38,864	11,963
2	453,592	47,263	10,419
3	453,592	38,084	8,396
4	453,592	48,001	10,582
5	453,592	36,751	8,102
6	453,592	38,864	8,568
			9,671 ± 1,545 CV= 15,97%

El rendimiento obtenido del almidón de banano *Cavendish* fue de  $9,671 \pm 1,545$  % como se registra en la Tabla 3; de resultados que difieren con Vergara et al., (2023) cuyo rendimiento fue del  $31,12 \pm 0,48$  % ; de igual manera Pérez, (2022) registra valores de rendimiento de  $15.944 \pm 1,993\%$  y  $16.9504 \pm 2,119$  % en *Banana roja* y *Banana baby* respectivamente, valores distintos a los obtenidos por Pescoran, (2018) con la variedad de plátano bellaco (*Musa paradisiaca L.*) en donde con una concentración de 5% de bisulfito de sodio obtuvo un rendimiento de 0,94 % mientras que con 10 % de concentración de bisulfito resultó en 0,99% de rendimiento, mediante estos resultados se puede decir que el porcentaje de rendimiento depende de la variedad de banano, época del año en que se cosecha, método de extracción, tiempo y revolución del licuado que se aplica y concentración de antioxidante.

### 3.2 Efecto de las condiciones de reacción en la modificación de almidón de banano *Cavendish*

#### 3.2.1 Valoración del grado de modificación de porcentajes de acetilo y grado de sustitución

En la tabla 4 se evidencia el porcentaje de grupo acetilo y grado de sustitución del almidón acetilado a diferentes temperaturas de reacción (30, 40 y 50 °C), siendo que estas condiciones afectan sus valores ( $p \leq 0,05$ ) aumentando conforme al ascenso de la temperatura; Rahim et al., (2017) propone que la acetilación se realiza comúnmente entre 25 °C y 50 °C, ya que

temperaturas más altas (50 °C) pueden provocar gelatinización no deseada del almidón; Liu et al., (2022) reporta que el rango del porcentaje de acetilo está entre 1,5 % y 2,5 % y grado de sustitución entre 0,02 y 0,12 valores que son comunes en almidones acetilados de bananos con el fin de mejorar sus propiedades funcionales, como la estabilidad, la solubilidad y la resistencia a la retrogradación.

**Tabla 4**

*Porcentaje de acetilo y grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>% Grupos Acetilo (%AC)</b>	<b>Grado de sustitución (GS)</b>
30	2,0896 ± 0,2710 <sup>a</sup>	0,0780 ± 0,0088 <sup>a</sup>
40	2,6652 ± 0,3166 <sup>b</sup>	0,1031 ± 0,0125 <sup>b</sup>
50	3,3104 ± 0,3826 <sup>c</sup>	0,1289 ± 0,0154 <sup>c</sup>

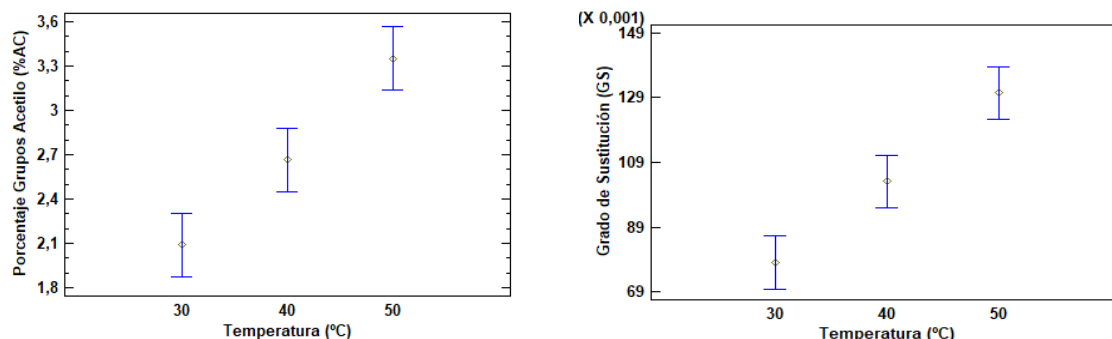
Promedio por triplicado ± desviación estándar  
 Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a la temperatura de reacción en los almidones acetilados

Como se observa en la Figura 8, el grado de sustitución y el porcentaje de grupos acetilo del almidón nativo al acetilado aumentó progresivamente, donde a una temperatura de 30 °C se obtuvo un % Ac de 2,0896 y Gs de 0,0780, mientras que a una temperatura de 50 °C alcanza un % Ac de 3,3104 y Gs de 0,1289, valores atribuidos debido a que a temperaturas elevadas el anhídrido acético y otros solventes utilizados en la reacción pueden volverse más solubles y difundir mejor en la matriz del almidón, favoreciendo así el proceso de acetilación, misma tendencia que reportó León et al., (2020) en su investigación demostrando que a mayor volumen de anhídrido acético se incrementa el %Ac y GS, este aumento en la molécula de almidón frena la linealidad de la amilosa o segmentos de amilopectina, lo que conlleva a una reasociación de las cadenas del almidón hacia una estructura más ordenada, reportando un GS de 0,78 para almidón acetilado derivado de plátano macho, valor que difiere de los obtenidos por Navarrete et al., (2023) donde en grado de sustitución obtuvo un valor de 0,018 en almidón de semilla de aguacate acetilado con ácido acético al 5% (v/v), por otro lado Teodoro et al., (2015) reporta que en el almidón acetilado presentó un porcentaje de grupos acetilo de 39,5 % con un GS de 1,15%, estos resultados no son similares al porcentaje de acetilación de los datos obtenidos, las diferencias detectadas en el contenido de grupo acetilo en los almidones pueden ser atribuidas al arreglo de la amilosa y amilopectina en una estructura semi cristalina, a poros

o fracturas de la estructura granular, al tamaño de los gránulos, los cuales son particulares dependiendo de la temperatura que se le aplique al almidón acetilado y la variedad de banano.

### Figura 8

Media de Fisher LDS del Porcentaje de Acetilo y Grado de sustitución a diferentes temperaturas de reacción.



### 3.3 Valoración de la Composición Proximal de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.

#### 3.3.1 Composición proximal del almidón nativo y acetilado

Tabla 5

Composición proximal del almidón nativo y acetilado a diferentes temperaturas de reacción

Componente (%)	Temperatura (°C)			
	0	30	40	50
Humedad	8,4937 ± 0,2986 <sup>c</sup>	6,9067 ± 0,7777 <sup>b</sup>	6,7537 ± 0,2533 <sup>b</sup>	3,4763 ± 0,0469 <sup>a</sup>
Ceniza	2,3747 ± 0,3183 <sup>b</sup>	1,6497 ± 0,3320 <sup>a</sup>	2,213 ± 0,3125 <sup>ab</sup>	2,618 ± 0,2946 <sup>b</sup>
Grasa	0,5667 ± 0,0577 <sup>c</sup>	0,3333 ± 0,0577 <sup>ab</sup>	0,4 ± 0 <sup>b</sup>	0,4333 ± 0,0577 <sup>a</sup>
Proteína	2,7667 ± 0,0551 <sup>d</sup>	0,81 ± 0,0436 <sup>b</sup>	1,2833 ± 0,0503 <sup>c</sup>	1,86 ± 0,06 <sup>a</sup>
Fibra	0,1467 ± 0,0058 <sup>c</sup>	0,1233 ± 0,0115 <sup>bc</sup>	0,1033 ± 0,0153 <sup>b</sup>	0,0567 ± 0,0208 <sup>a</sup>
Hidratos de Carbono	90,669 ± 0,4281 <sup>b</sup>	88,5607 ± 0,6845 <sup>a</sup>	88,5037 ± 0,6463 <sup>a</sup>	88,0253 ± 1,1369 <sup>a</sup>



En la Tabla 5 se puede constatar la composición química de los almidones acetilados y almidón nativo de banano variedad *Cavendish*. Se puede evidenciar que los datos correspondientes a sus componentes químicos cumplen con la distribución normal de datos ( $p \leq 0,05$ ) y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente los componentes químicos ( $p \leq 0,05$ ).

En la figura 9 se visualiza que el componente de cenizas aumenta con respecto al incremento de la temperatura de reacción mostrando su valor más alto a 50 °C con  $2,618 \pm 0,2946\%$ , mientras que para los hidratos de carbono y fibra sus valores fueron decreciendo con el aumento de temperatura con  $88,0253 \pm 1,1369\%$  y  $0,0567 \pm 0,0208\%$ , respectivamente resultados diferentes a los obtenidos por Mogrovejo, (2018), el cual reportó que el porcentaje de ceniza obtenido por el método seco fue de 0,221% en almidón de oca, mientras que Torres et al., (2015) obtuvo en cenizas un valor de 1,78% para almidón acetilado de malanga; de igual manera, Herbert et al., (2018) reportó valores bajos en porcentaje de cenizas de 0,31% ya que utilizó tratamientos con ácido lo que ocasionó que el porcentaje de cenizas disminuyera por el efecto de solubilización del tratamiento aplicado.

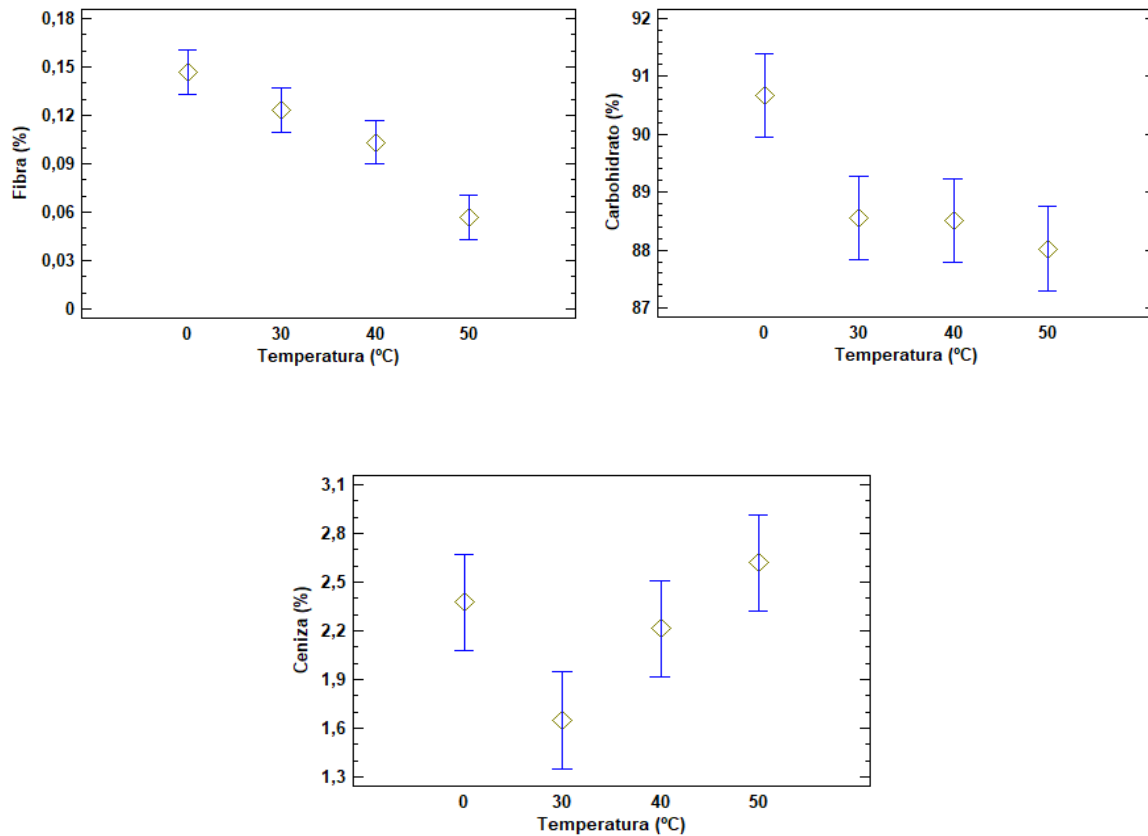
En el caso de la fibra de igual manera se evidenció una disminución cuanto mayor era la temperatura de reacción tendencia que dista de las reportadas por Olatunde et al.,(2017) en su estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones de banano y plátano tanto nativo como acetilados, donde el valor para fibra del almidón de banano acetilado fue mayor en comparación con el almidón nativo de banano con valores de 0,66 % y 0,92% respectivamente valores similares a los obtenidos por Carrillo, (2024) donde obtuvo 0,76 % en fibra para almidones acetilados de maíz, esta disminución se le puede atribuir a las degradaciones que sufre el almidón durante su modificación.

Mientras que los porcentajes de hidratos de carbono presentaron una disminución progresiva conforme el aumento de la temperatura de reacción en los almidones acetilados siendo que a 50 °C el valor fue de  $88,0253 \pm 1,1369\%$  ya que a temperaturas elevadas, las cadenas de carbohidratos pueden romperse debido a la despolimerización o degradación térmica, lo que reduce la integridad estructural del almidón, tendencia contraria a la reportada por Ayo et al., (2022) en su estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones puros y

modificados de banano *Cardaba* donde presentó un aumento en el contenido de carbohidratos en los almidones modificados con valores de  $88,25 \pm 0,01$  % .

### Figura 9

*Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de fibra, carbohidratos y ceniza*



En la figura 10 se visualiza una disminución en los porcentajes de grasa, proteína y humedad donde para los almidones acetilados a 30 °C se registraron valores de 0,3333 % , 0,81 % y 6,9067 % respectivamente mientras que para los almidones acetilados a 50 °C sus valores fueron de 0,4333 % , 1,86 % y 3,4763 % , los valores de almidón acetilado fueron notoriamente más bajos comparados al almidón nativo, se puede atribuir los bajos contenidos de estos componentes a la descomposición que sufre las partículas de almidón durante el proceso de modificación la cual también provoca la precipitación de las proteínas y las grasas al medio de reacción (Cedeño et al., 2023).

Aparicio et al., (2024) reporta una tendencia igual para el almidón de plátano macho modificado siendo que el porcentaje de humedad fue de 11,2416 % mientras que para la proteína y grasas sus valores fueron de 0,9882 % y 0,5012 % respectivamente, de igual manera

Fontes et al., (2017) en su estudio donde caracterizó las propiedades funcionales del almidón de plátano verde de la variedad Mysore evidencio porcentajes de proteína menor (0,44 %) y una humedad mayor (12,30 %) a la registrada en almidón de plátano verde. Por otro lado, Marta et al., (2019) obtuvo valores de 8,92 % para humedad, 0,96 % para proteína y 0,24 % para grasa en almidón de banano de la variedad *Kapas* mientras que para la variedad *Kepok* los porcentajes de humedad y grasa fueron menores con 6,83% y 0,06 %, respectivamente; sin embargo, el porcentaje de proteína (1,01%) fue similar al de la variedad *Kapas*, las diferencias en los valores reportados se los puede atribuir a las variedades del almidón y a las condiciones de acetilación.

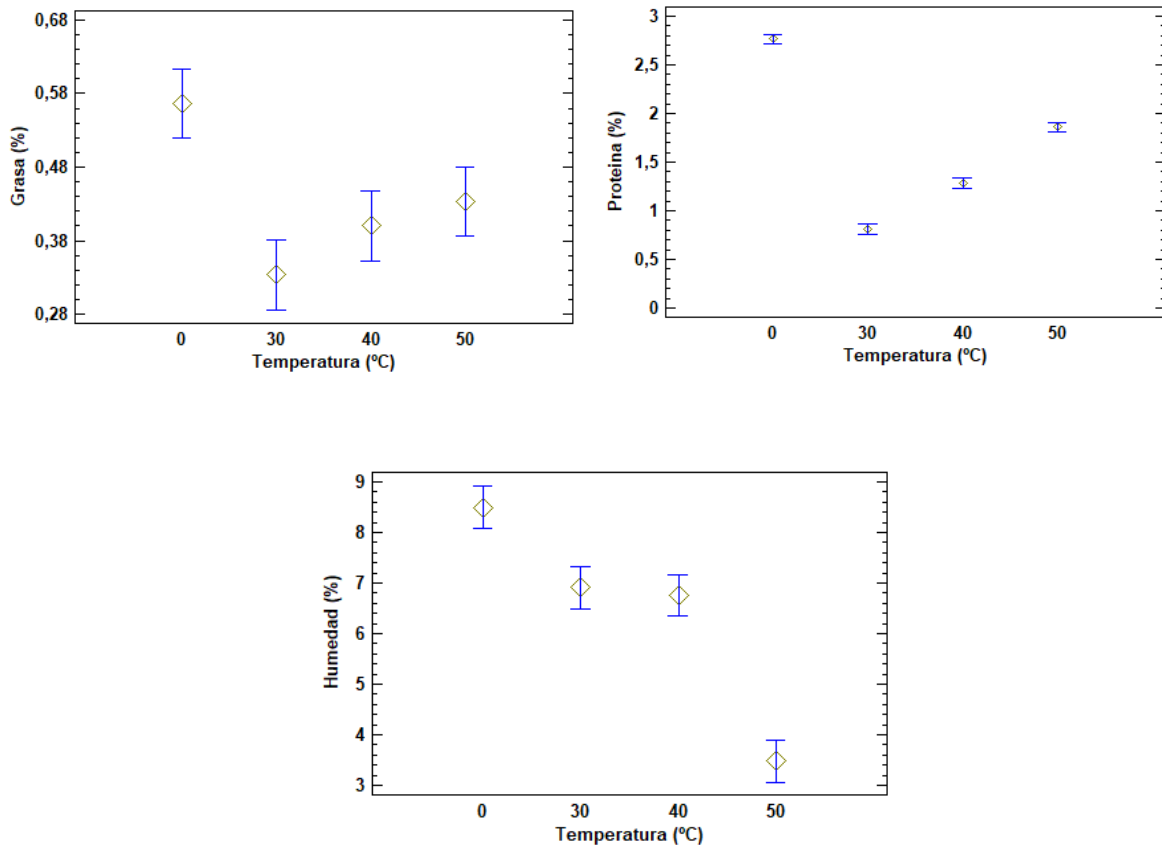
Zapata et al., (2020) observo que cuanto mayor era el contenido de humedad del almidón mayor era el porcentaje de cenizas, presentando valores de 15,61 % y 9,53 % humedad para almidón de banano verde y almidón de mandioca respectivamente, por otro lado, su contenido de cenizas fue 0.26% para el banano verde y 0.07% para mandioca.

El almidón nativo de banano generalmente tiene un contenido de grasa muy bajo, típicamente inferior al 1 %, esto se debe a que el almidón es un polisacárido compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, con una mínima presencia de lípidos, según Zhang et al. (2019) reportó que el almidón nativo de banano contiene aproximadamente 0,2 – 0,5 % de grasa, dependiendo de la variedad y el método de extracción, valores que concuerdan con los obtenidos por Olatunde et al., (2017) en su trabajo donde estudió las propiedades químicas y funcionales de almidones de banano y plátano modificados por acetilación siendo que para el almidón acetilado de banano se presentó un porcentaje de grasa de 0,21 %, mientras que para el almidón de plátano acetilado, el valor fue mayor, 0,47 %.

De acuerdo a Chévez, (2020) en el estudio de banano maqueño «Red Dacca» (*Musa acuminata*) existe diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en los distintos tratamientos de composición proximal, el valor más alto fue el T3 extraído de La Maná con 4,98 %, mientras que el T6 extraído del Empalme obtuvo 3,75 %, siendo este el valor más bajo, depende del lugar de donde se extrae, ya que al modificarlo la acetilación del almidón de banano introduce grupos acetilo en las moléculas de almidón, lo que puede afectar la interacción entre las proteínas y el almidón, esto puede alterar la solubilidad, la capacidad de retención de agua y la estabilidad térmica de las proteínas.

**Figura 10**

*Media de Fisher LDS del Efecto de la temperatura de reacción con respecto a los porcentajes de lípidos, proteínas y humedad*

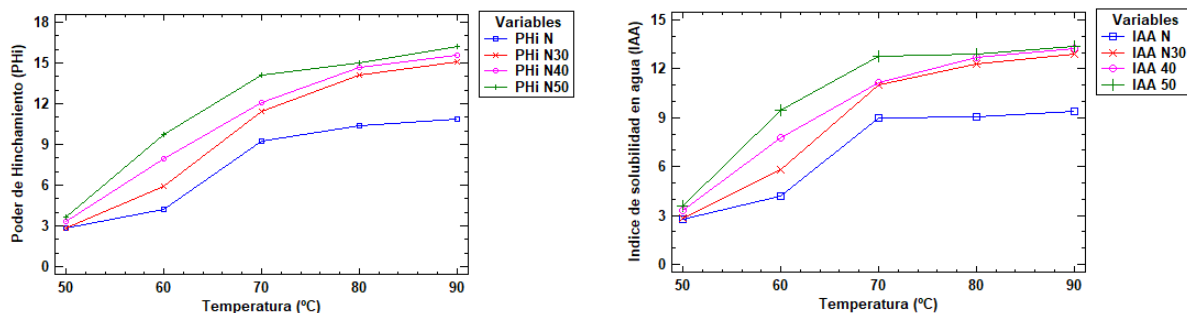


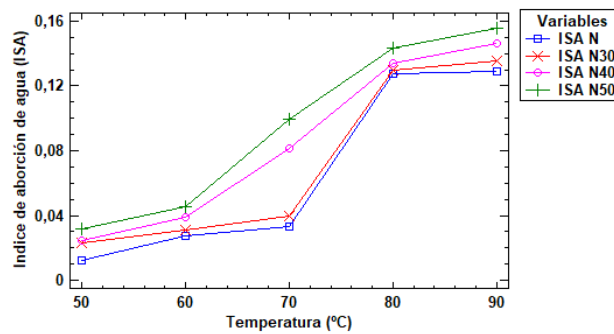
### 3.4 Valoración de las propiedades funcionales de los almidones obtenidos por acetilación a diferentes temperaturas.

#### 3.4.1 Propiedades funcionales del almidón

**Figura 11**

*Influencia de la temperatura sobre el Poder de Hinchamiento (PHi), Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA)*





Como se evidencia en la figura 11 se observa que los almidones que fueron acetilados a temperaturas de 30, 40 , 50 °C evidenciaron incremento en el poder de hinchamiento, índice de absorción de agua e índice de solubilidad con respecto a su coterráneo nativo, reportando que sobresale el almidón acetilado a 50 °C debido a la mayor porosidad y menor compactación de los gránulos de almidón, y se puede atribuir a que la inserción de grupos acetilo dentro de las moléculas de almidón ocasionan que se dé una reorganización estructural del mismo por un impedimento estérico lo que da como resultado un rechazo entre las moléculas de almidón, ayudando de esta manera al incremento de la filtración del agua en las regiones amorfas del gránulo dando en consecuencia un crecimiento en la capacidad de hinchamiento del almidón (Montoya, 2021).

En el poder de hinchamiento (PHi) como se observa en la figura 11 presenta mayor crecimiento entre el rango de temperatura 70 – 90 °C, tanto para el almidón nativo como para el almidón acetilado siendo el almidón acetilado a 50 °C a una temperatura de 90 °C el mayor valor con 16,2104 siguiendo la tendencia Anchundia, (2019) evidenció un incremento a medida que la temperatura aumenta, obteniendo el mayor valor a los 95 °C con 13,58 g/100g en almidón nativo de camote y 15,13 g/100g para el almidón acetilado, entendiéndose que el poder de hinchamiento del almidón de banano acetilado se refiere a la capacidad del almidón modificado químicamente mediante acetilación para absorber agua y aumentar su volumen cuando se expone a diferentes temperaturas, concordando según lo reportado con Correa et al., (2017) a una menor temperatura su PHi fue de 2,36 % y Thanyapanich et al., (2021) que al explorar las propiedades funcionales del almidón de banano acetilado destaca que el poder de hinchamiento aumenta proporcionalmente con la temperatura, alcanzando un pico a 85 °C dándonos a entender que este comportamiento se asocia con la mayor hidrofobicidad inducida por la acetilación con resultados de  $17,23 \pm 0,94$  g/g y  $15,90 \pm 0,15$  g/g, respectivamente.

El índice de solubilidad (IAA) de los almidones incremento de acuerdo con el aumento del poder de hinchamiento siendo el máximo valor obtenido a 50 °C con un valor de 0,1553, esto se debe a que a medida que los gránulos de almidón se hinchan, se ven afectados los enlaces intergranulares haciendo que se debiliten y ocasionando que se filtre al medio continuo la amilosa que son las moléculas de almidón unidas de formas suelta, resultados similares reportados por Villanueva et al., (2018) el cual menciona en su investigación que el almidón de banano acetilado la solubilidad tiende a aumentar con el incremento de la temperatura, esto se debe a que el calor facilita la ruptura de los enlaces de hidrógeno dentro de la estructura del almidón, permitiendo una mayor interacción con las moléculas de agua, de igual forma Olazába et al., (2022) reportó valores de 6,1231 en el índice de solubilidad de agua para almidón acetilado de arroz valor mayor en comparación al almidón nativo.

Según el gráfico de Índice de Absorción de Agua (ISA) indican que aumenta significativamente con el aumento de la temperatura de reacción con valores de 0,0121 hasta 0,1553, estos valores pueden variar dependiendo de factores como la variedad del banano, el método de extracción del almidón y las diferentes temperaturas que se aplican en la acetilación, como observó Anchundia, (2019) en su estudio donde visualizó un incremento conforme la temperatura aumentaba obteniendo el mayor valor de absorción de agua a 95 °C con 25,73 g/100g en almidón acetilado de camote. Por otro lado, Herlina et al., (2019) encontró que el almidón de banano verde tiene una capacidad de absorción de agua significativamente mayor en comparación con el almidón de banano maduro, debido a las diferencias en el contenido de amilosa y amilopectina, destacó que el tratamiento térmico puede modificar la capacidad de absorción en temperatura de 50 °C a 1,03 % y a temperatura 90 °C llegando a 2,51 % de ISA.

### 3.4.2 Capacidad de Retención de Aceite

**Tabla 6**

*Capacidad de retención de aceite*

<b>Propiedades Funcionales</b>	<b>Temperatura (°C)</b>			
	0	30	40	50
<b>Capacidad de retención de aceite</b>	2,2667±0,7638 <sup>a</sup>	2,7±0,4583 <sup>ab</sup>	3,2333±0,3786 <sup>ab</sup>	3,5333± 0,5508 <sup>b</sup>

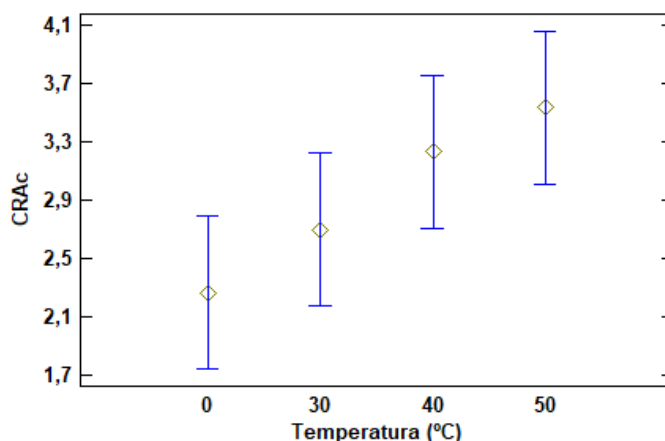
Promedio por triplicado  $\pm$  desviación estándar  
Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a la temperatura de reacción en los almidones acetilados

---

En la Tabla 6 se exhibe la capacidad de retención de aceite del almidón nativo y acetilado de banano variedad *Cavendish*, donde se constata que los datos correspondientes a la capacidad de retención de aceite cumplen con la distribución normal de datos ( $p \leq 0,05$ ), y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente esta propiedad ( $p \leq 0,05$ ).

### Figura 12

*Impacto de la temperatura de reacción en la capacidad de retención de aceite (CRAc)*



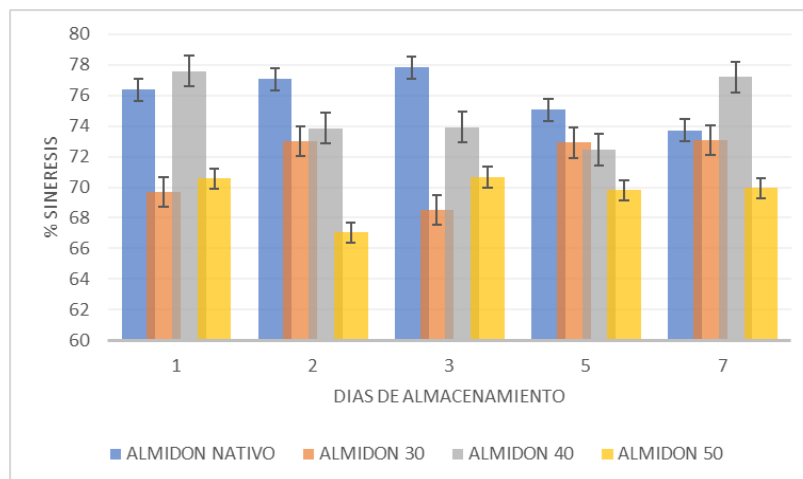
Como se observa en la Figura 12 la temperatura de reacción afectó significativamente la capacidad de retención de aceite ( $p \leq 0,05$ ); los almidones que fueron acetilados a temperaturas de 30, 40, 50 °C evidenciaron un impacto notorio en la retención de aceite denominada CRAc donde para el almidón nativo se obtuvo una capacidad de  $2,2667 \pm 0,7638$  %, valor que fue aumentando en los almidones acetilados siendo que a mayor temperatura mayor capacidad para la retención de aceite, a temperaturas de reacción de 50 °C se evidenció un valor de  $3,5333 \pm 0,5508$  %, misma tendencia a la reportada por Torres et al, (2015) donde obtuvo mayores valores en la capacidad de retención de aceite en el almidón modificado con respecto al nativo de malanga mostrando valores de  $9,93 \pm 0,80$  % y  $6,51 \pm 0,25$  %, respectivamente, atribuyendo estos aumentos al carácter hidrofóbico que le da el grupo funcional que es introducido en el almidón al ser modificado causando un impedimento estérico facilitando el paso del aceite dentro del gránulo del almidón. Torres et al., (2018) reporta un el valor de CRAc de 0,9 %,

dando entender que varía dependiendo del contenido de fibra, ya que la fibra presenta propiedades de hidratación elevadas, también se debe tener en cuenta que Mounir et al., (2024) en su investigación la temperatura durante la acetilación afecta la eficiencia de la reacción y la distribución de los grupos acetilo en las moléculas de almidón

### 3.4.3 Sinéresis

#### Figura 13

*Influencia de la temperatura de reacción en la Sinéresis de los almidones según los días de almacenamiento.*



En la Figura 14, mediante observación, podemos determinar la cantidad de liberación de agua del almidón nativo y modificados mediante acetilación a distintas temperaturas, durante 7 días, reporta una disminución en el porcentaje de sinéresis al aumentar los días, demostrando que el almidón acetilado a 50 °C es más estable a la refrigeración con un valor de  $69,9484 \pm 3,60\%$ , ya que en bajas temperaturas, las cadenas de amilosa y amilopectina tienden a reorganizarse y expulsar agua, lo que provoca sinéresis y esta debido a la propiedad de barrera del almidón acetilado a distintas temperaturas la introducción de grupos acetilos en la molécula anhidro glucosa impide la salida del agua y aumenta la estabilidad al liberar agua en condiciones de refrigeración, lo que indica que el almidón es más estable a la degradación, siguiendo la tendencia según Águila et al., (2022) demuestra que las moléculas de almidón cuando se someten a congelación puede derivar en sinéresis que influye en sus propiedades funcionales ya que al almidón después de cierto tiempo de someterlo a almacenamiento en congelación deriva a una baja sinéresis indicando que el almidón es menos propenso a degradación, es decir posee una mayor estabilidad como se evidencia en las variedades de guayabo con  $1,25 \pm 0,07\%$  y moquicho  $0,87 \pm 0,09\%$  así como también Delgado et al., (2024) indica que el porcentaje



de sinéresis en promedio de la investigación es de 1,32 % del almidón nativo de Vituca manteniéndose estable a estas temperaturas de almacenamiento evaluadas en 5 días que contemplan 120 horas dando un resultado de  $1,46 \pm 0,12$  a 4 °C sin mostrar exudación o expulsión de líquido fuera del gel. Por otro lado, Veloso et al., (2022) reportó un valor de 3,03 % en sinéresis el primer día y desde el segundo hasta el decimoquinto día se mantuvo estable en el almidón blanco acetilado de inhambu.

### 3.5 Impacto de la temperatura de reacción sobre las propiedades físicas de los almidones obtenidos por acetilación

#### 3.5.1 Densidad Aparente

**Tabla 7**

*Densidad Aparente de los almidones acetilados*

Propiedades físicas	Temperatura (°C)			
	0	30	40	50
<b>Densidad Aparente</b>	$0,7856 \pm 0,0064^a$	$0,7820 \pm 0,0151^b$	$0,7609 \pm 0,0132^{bc}$	$0,7366 \pm 0,0114^c$

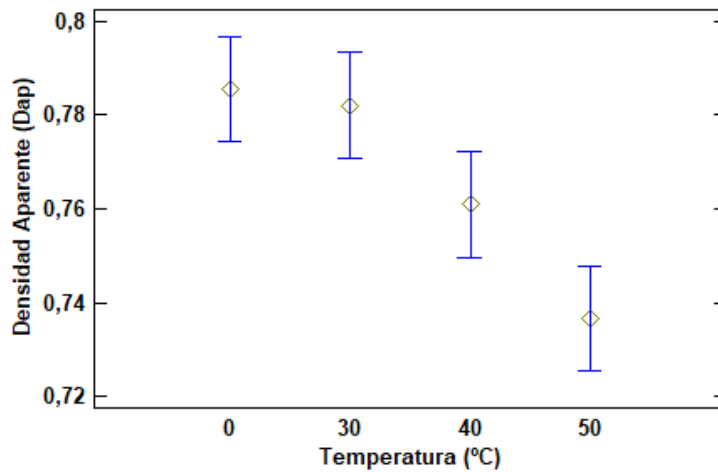
Promedio por triplicado  $\pm$  desviación estándar

Diferencia de letras en la misma columna, indica diferencia significativa debido a la temperatura de reacción en los almidones acetilados

En la Tabla 7 se refleja la densidad aparente tanto del almidón nativo y como del almidón acetilado de banano de la variedad *Cavendish*, donde se constata que los datos correspondientes a densidad aparente cumplen con la distribución normal de datos ( $p \leq 0,05$ ) y fueron evaluados a través de ANOVA. En el análisis de ANOVA se reporta que la temperatura de reacción afectó significativamente la densidad aparente de los almidones ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 14**

*Influencia de la temperatura de reacción en la densidad aparente de los almidones*



En la figura 13 se observa que el incremento la temperatura de reacción provoca una mayor hinchazón de los gránulos de almidón, lo que reduce la densidad aparente debido al aumento del volumen ocupado por el almidón gelatinizado, siguiendo la tendencia que marca Kusalaruk et al., (2023) que investigó el efecto de diferentes temperaturas de secado 40, 50 y 60 °C en la densidad aparente del almidón de banano, donde sus resultados mostraron que a medida que aumentaba la temperatura de secado, la densidad aparente disminuía debido a la mayor porosidad y menor compactación de los gránulos de almidón, según lo demostrado por Wang et al., (2015) que sugieren que el tratamiento térmico a altas temperaturas puede alterar la morfología de los gránulos, reduciendo su densidad aparente, tendencia diferente a la reportada por Vergara et al., (2023) donde a mayor contracción del reactante presentó mayores valores en la densidad aparente siendo su valor máximo reportado de  $0,748 \pm 0,004$  en el almidón de banano variedad *Cavendish* acetilado con 15 mL de anhídrido acético, mientras para el almidón acetilado con 10 mL de Anhídrido acético obtuvo un valor de  $0,742 \pm 0,001$ .

## CONCLUSIONES

- El rendimiento obtenido a través de la molienda húmeda del almidón proveniente de banano variedad *Cavendish* fue del  $9,671 \pm 1,545$  %; con respecto a la modificación por acetilación, se muestra que el incremento de temperatura provoca efecto de incrementar el porcentaje de grupos acetilo (%AC) y el grado de sustitución (GS) ( $p \leq 0,05$ ); lo que provoco cambios en su composición proximal, tanto los Hidratos de carbono como la humedad, proteínas, grasa y fibra mostraron una tendencia decreciente dando a entender que la temperatura de reacción tuvo un impacto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en estos componentes mientras que en el caso de las cenizas su tendencia fue creciente.
- En densidad aparente, el gránulo de almidón presenta una mayor hinchazón lo que reduce la densidad aparente debido al aumento del volumen ocupado por el almidón gelatinizado, así como el almidón nativo empieza con una densidad aparente de 0,7856 y a una temperatura de reacción de 50 °C su densidad es de 0,7366 entendiendo que a medida que aumentaba la temperatura de acetilación, la densidad aparente disminuía debido a la mayor porosidad y menor compactación de los gránulos de almidón.
- En cuanto a la sinéresis al incrementar la temperatura de reacción el porcentaje de sinéresis fueron decreciendo, evidenciando menor liberación de agua ( $p \leq 0,05$ ).

## **RECOMENDACIONES**

- Para una extracción más efectiva y un mayor porcentaje de almidón es preferible elegir el banano en la temporada donde la producción de banano es alta ya que en esta temporada al disminuir las lluvias y aumentar los días soleados provoca que el banano engruese más rápido dando, por lo tanto, mayor cantidad de almidón.
- Al momento de licuar usar la máxima revolución y usar liencillo para filtrar mejor el almidón con el fin de que no se pase la pulpa.
- Aprovechar los residuos de la extracción del almidón como lo son la cáscara y pulpa del banano para futuras investigaciones.
- En la sinéresis del almidón de banano acetilado es recomendable dejar las muestras por al menos 15 días para verificar de manera más óptima el comportamiento del almidón acetilado.

## BIBLIOGRAFÍA

Armijos Hurtado, A. A. (2023). *Diseño de un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) para la empresa ROLDEG SA ECUADOR*. [Bacheor's Tesis, Escuela Superior Politecnica de Chimborazo]

Anchundia, M. A. L. (2019). Caracterización funcional de almidón acetilado de camote y su utilización en la formulación de pudines de frutas. *SATHIRI*, 14(1), 160-173. <https://doi.org/10.32645/13906925.813>

Aguíla, C, A, M. (2022). *Propiedades Funcionales, Morfológicas y Térmicas de Harina y Almidón de Plátano Variedades Musa acuminata AA Y Musa acuminata AAA*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee0e8946-0d29-42bb-b590-29b29b9bf7f4/content>

Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C.G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>

Alegría León, J., & Farrera Olea, J. J. (2022). *Manual de obtención, caracterización y uso de harinas y almidones de fuentes no convencionales*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Ciencia y Artes de Chiapas]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4548>

Aidoo, R., Oduro, I. N., Agbenorhevi, J. K., Ellis, W. O., & Pepra-Ameyaw, N. B. (2022). Physicochemical and pasting properties of flour and starch from two new cassava accessions. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 561-569. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2022.2052087#abstract>

Amaya-Pinos, J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 43-51. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>

Aparicio-Saguilán, A., Páramo-Calderón, D. E., Vázquez-León, L. A., Aguirre-Cruz, A., García-Muñoz, M. A., Valera-Zaragoza, M., ... & Ramírez-Hernández, A. (2024). Resistant starch from plantain (Macho *Musa paradisiaca* L.) and banana (Roatan *Musa sapientum* L.) varieties crosslinked with epichlorohydrin. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 66.

Ayo-Omogie, H. N., Johnson, O. O., Awolu, O. O., & Oluwajuyitan, T. D. (2022). Physicochemical, Functional, Pasting Properties and Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Pure and Modified Cardaba Banana (*Musa ABB*) Starches. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=4113796>

Barrezueta Unda, S., Domingue, C. A., & Añazco Loaiza, H. (2024). Impacto de la fertilización con biocarbón y SiO<sub>2</sub> en el desarrollo del banano. *Manglar*, 21(1), 87-93. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.009>

Bashir, K., & Aggarwal, M. (2019). Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *Journal of food science and technology*, 56, 513-523. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2>

Carrillo Cañedo, K. I. (2024). *Obtención y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz acetilado y microcristales de celulosa aislados de Padina durvillaei* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa]. [http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB\\_UAS/728](http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/728)

Cedeño, L. A. S., Díaz-Torres, R., Casariego-Año, A., Arias-Toro, D., & Yáñez-Romero, M. (2021). El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (M. Sapientum L.) variedad Cavendish. *Cumbres*, 7(1), 9-20. <http://doi.org/10.48190/cumbres.v7n1a1>

Cedeño, L. A. S., Arias-Toro, D., Pereira, F. A. G., & Leon, W. P. C. (2023). Efecto de la acetilación en el almidón de maíz. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 8(4), 109-121. <https://revistas.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/510/206>

Contreras-Pérez, R. K., Torre-Gutiérrez, L. D., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *Revista científica europea, ESJ*, 14 (30), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>

Correa, D., Castaño, M. F., & Montoya, J. (2017) Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominico hartón (*musa paradisiaca l.*) *UG Ciencia* 23, 88-91. <https://repository.ugc.edu.co/items/f57762c6-6f37-4e17-8ad8-a6602f995dee>

Chévez H. H. V. (2020) *Caracterización Físico-Química del Banano Maqueño Red Dacca (Mussa acuminata)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/44a60047-2b23-4a27-b9d2-d99b5245ce6a/content

Dávila, F. V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de investigación Universitaria*, 3(2). <https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.517>

Delgado, R. D.Y. (2024). *Evaluación de las características funcionales del almidón nativo de vituca (Colocasia esculenta)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca ]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7452>

Franco, M. F. S., Preczenhak, A. P., Bonandi, R., Oliveira, E. R., Rocha, T., & Kluge, R. (2023). La aplicación de putrescina exógena extiende la vida útil de las bananas en postcosecha. *Investigación Joven*, 10(2), 258-262

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. *FAOSTAT agricultural production*. [https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities\\_by\\_country](https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country)

Fonseca, L. M., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274, 118665. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861721010523>

Fontes, S. D. M., Cavalcanti, M. T., Candeia, R. A., & Almeida, E. L. (2017). Characterization and study of functional properties of banana starch green variety of Mysore (Musa AAB-Mysore). *Food Science and Technology*, 37, 224-231. <https://www.scielo.br/j/cta/a/T94Kr8PjSqZ4TLCsnhqVB4g/>

Herlina, M., Yana, C., Mohamad, D., Jayashree, A. & Tensiska T. (2019) Un estudio comparativo sobre las propiedades fisicoquímicas y de empastado del almidón y la harina de diferentes cultivares de banano (*Musa spp.*) cultivados en Indonesia . *International Journal of Food Properties* 22:1, 1562-1575. <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/10942912.2016.1209517?scroll=top&needAccess=true>

Hernández, J. P. R. (2021). *Obtención de microcápsulas de mucílago de café mediante secado por aspersión usando almidón de plátano modificado químicamente y maltodextrina*. [Master's Thesis, Universidad Autónoma de Manizales]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143962985.pdf>

Herbert Marín., G. E., Gómez, R. S., & Del Carmen, M. (2018). Extraction, characterization and modification of starch from post-harvest waste banana (*Musa sapientum*), var. *Roatán*. *Revista Ambiens Techné et Scientia México*.6(2),2954-3622 <https://ambiental.unam.mx/albunimagenes/Revista/2018%20Vol%206%20Num%202%20ATSM.pdf#page=41>

Hipo Hipo, A. M. (2023). *Elaboración, y caracterización de recubrimientos comestibles, obtenidas del almidón de zanahoria blanca, utilizadas para conservar fresas*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Huamani-H, A.L., Ponce-Ramírez, J. C., & Málaga-Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381-390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>

Kaushik, R., Kumar, A., Rani, N., Phogat, R., & Gehlot, R.(2024). Acetylation/Esterification of Starch. *In Starch* (pp. 281-313). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781032655598-12/acetylation-esterification-starch-ranjan-kaushik-ankit-kumar-neha-rani-rekha-phogat-rakesh-gehlot>

Kusalaruk, W., Auputinan, P., Prommajak, T. & Xedzro, C. (2023). Effect of drying temperature on physicochemical properties and resistant starch in unripe banana flour obtained from Kluai Khai Pratabong (*Musa acuminata*, AAA Group) and its application in a soup product. *Songklanakarín Journal of Science and Technology*. 45(3), 407-414.

León, G. M., León, D. M., Monroy, M. A., de La Espriella, S., & Herrera, A. (2020). Chemical modification of starches through esterification reactions and their potential use in the cosmetic industry. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39 (5), 620–629. <https://www.redalyc.org/journal/559/55965386017/>

Liu, J., Liu, M., Wang, J., Zhang, J., Miao, H., Wang, Z., ... & Jin, Z. (2021). Transcription factor MaMADS36 plays a central role in regulating banana fruit ripening. *Journal of experimental botany*, 72(20), 7078-7091. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab341>

Liu, C., Yan, H., Liu, S., & Chang, X. (2022). Influence of phosphorylation and acetylation on structural, physicochemical and functional properties of chestnut starch. *Polymers*, 14(1), 172. <https://doi.org/10.3390/polym14010172>

López-Vázquez, D. E., Hernández-Rodríguez, L., LobatoCalleros, C., & Aguirre-Mandujano E. (2024). Effect of OSA modification of cacahuacintle corn starch on its physicochemical

properties, digestibility and stability. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 16(2) 21–38. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2024.06.020>

Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food hydrocolloids*, 111, 106393. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20317483>

Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., Arcot, J., & Tensiska, T. (2019). A comparative study on the physicochemical and pasting properties of starch and flour from different banana (*Musa* spp.) cultivars grown in Indonesia. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1562-1575. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1657447>

Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., & Pramafisi, G. (2022). The properties, modification, and application of banana starch. *Polymers*, 14(15), 3092. <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3092>

Martínez P., Málaga A., Betalleluz I., Ibarz A., Veleznoro C. (2015) Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6 (4): 291 -301. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2019000300006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300006)

Martínez-Ortiz, M. A., León-Fernández, A. E., Bello-Lara, J. E., Berumen-Varela, G., Bautista-Rosales, P. U., Jiménez-Zurita, J. O., ... & Balois-Morales, R. (2022). Almidones de frutos tropicales y su aplicación en la industria alimentaria: mango, plátano, chirimoya y guanábana. Una revisión. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(56), 1-13. [https://riiit.com.mx/apps/site/files\\_v2450/almidon\\_nay\\_1\\_riiit\\_div\\_may-jun\\_2022\\_v1.pdf](https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/almidon_nay_1_riiit_div_may-jun_2022_v1.pdf)

Martins, A. N., Suguino, E., Araújo, H. S., Firetti, R., Turco, P. H. N., & Amorim, E. P. (2022). Agronomic behavior of banana cultivars in the geographic microregion of Assis, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(4), e-112. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022112>

Méndez, P. A., Méndez, A. M., Martínez, L. N., Vargas, B., & López, B. L. (2022). Cassava and banana starch modified with maleic anhydride-poly (ethylene glycol) methyl ether (Ma-mPEG): A comparative study of their physicochemical properties as coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 1-14.

Montoya Yepes, D. F. (2021). *Almidones de arroz nativos y modificados como materiales de encapsulamiento y liberación controlada de principios naturales de origen vegetal*. [Doctoral dissertation, Universidad del Tolima]. <https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/e4987821-4689-483d-9adb-756267d483b8/content>

Mounir, S., Ghandour, A., Shatta, A., & Farid, E. (2024). Starch: Properties and Functionality. 10.1201/9781032655598-1. [https://www.researchgate.net/publication/384020111\\_Star](https://www.researchgate.net/publication/384020111_Star)

Moreno-Zaragoza, J., Rosell, C. M., & Bello-Pérez, L. A. (2024). The multiscale structure of banana starch related to the physicochemical, thermal, functional and digestibility characteristics: A review. *Food Hydrocolloids*, 110646. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110646>



Mogrovejo, A. A. G. (2018). *Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (Oxalis tuberosa Molina) variedad amarilla*. [Tesis Universidad Politécnica Salesiana -Sede Cuenca] <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17712>

Mutis González, N. (2019). *Estudio de las Modificaciones Fisicoquímicas Originadas por la Inclusión de Minerales en la Matriz del Almidón de Papa y Plátano*. [Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia] .<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76761>

Navarrete-Tumbaco, C. J., Mezones-Santana, J. A., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Mosquera, A. C., & Riera, M. A. (2023). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *Avances en Química*, 18(1). [10.53766/AVANQUIM/2023.18.01.03](https://doi.org/10.53766/AVANQUIM/2023.18.01.03)

Nwakego, A. O. H., Opeyemi, J. O., Olufemi, A. O., & David, O. T. (2022). Physicochemical, functional, pasting properties and fourier transform infrared spectroscopy of native and modified *Cardaba* banana (*Musa ABB*) starches. *Food Chemistry Advances*, 1, 100076. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22000648>

Olatunde, G. O., Arogundade, L. K., & Orija, O. I. (2017). Chemical, functional and pasting properties of banana and plantain starches modified by pre-gelatinization, oxidation and acetylation. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1283079. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1283079>

Olazábal-Ticona, W., Linares-Zegarra, M., de Jara, E. M., Quequezana-Bedregal, M., García-Hernández, E., & Gutiérrez-Oppe, E. (2022). Efecto de la concentración de anhídrido acético en los grados de sustitución del almidón de arroz. *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era*, 407.

Paz Portilla, E. I. (2024). *Evaluación nutricional de una bebida formulada con almidón de camote tradicional (Ipomoea batatas) y concentrado de mortiño (Vaccinium meridionale)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Politecnica Estatal de Carchi]. <https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c2b0050-c7ff-45ee-bae4-df4228874071/content>

Padilla Chuquimarca, J. A. (2021). *Comportamiento productivo de la adición de rechazo de banano Cavendish, Musa acuminata Cavendish Subgroup, cocido en la alimentación de cerdos posdestete* [Bachelor's thesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena] <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6368/1/UPSE-TIA-2021-0068.pdf>

Pescoran, Y. (2018). *Evaluación del rendimiento y la calidad de almidón obtenido a partir del plátano bellaco (Musa paradisiaca)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/246>

Pérez Machado, H. P. (2022). *Comparación de los bioplásticos obtenidos a partir de banana baby (Musa sp.) y banana roja (Musa acuminata "Red Dacca") en el uso para embalaje de alimentos*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica del Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21824/1/96T00964.pdf>

Pisco, J., & Vladimir, E. (2024). *Evaluación de la maduración del banano (Musa paradisiaca) bajo tres condiciones de almacenamiento*. [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/6400/javier-pisco-erick-vladimir.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Qiao, J., Jia, M., Niu, J., Zhang, Z., Xing, B., Liang, Y., ... & Zhang, L. (2024). Amylopectin chain length distributions and amylose content are determinants of viscoelasticity and digestibility differences in mung bean starch and proso millet starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131488.

Raza Jimbo, K. L. (2019). *Efecto de la incorporación de harina (pulpa-cáscara y cáscara) de banano (Musa cavendish) de rechazo en las propiedades tecno-funcionales y nutricionales de un embutido tipo chorizo* [Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/39ef9dac-fba1-4822-9947-8a795d78f19a/content>

Rahim, A., & Kadir, S. (2017). The influence degree of substitution on the physicochemical properties of acetylated arenga starches. *International Food Research Journal*, 24(1), 102. [http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20\(01\)%202017/\(11\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(01)%202017/(11).pdf)

Ramírez Venegas, R. (2023). *Propiedades físicas, químicas y tecno funcionales de almidones de papa (Solanum tuberosum) modificados por esterificación*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Jose Maria Arguedas]. [https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/830/Rafael\\_Tesis\\_Bachiller\\_2023.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/830/Rafael_Tesis_Bachiller_2023.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ricardo, R. B. G. (2022). *Estado físico, químico y microbiológico del suelo en cultivo del banano Cavendish y de la palma africana Damasson 007 en la provincia de Los Ríos-Quevedo* [Bachelor's thesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

Rosero, M. V. G., & Villa, L. M. Z. (2021). *Aplicación de biopelículas desarrolladas a partir de productos infrutilizados de Zea mays l. y Musa acuminata en productos de IV y V gama* [Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8506/1/RO3960\\_1%20%281%29.PDF](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8506/1/RO3960_1%20%281%29.PDF)

Salcedo-Mendoza, J. G., Rodríguez-Lora, M. C., & Figueroa-Flórez, J. A. (2016). Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y ñame (*Dioscorea alata* cv. Diamante 22). *Revista Mexicana de ingeniería química*, 15(3), 787-796.

Salazar, E. J. L., Toro, D. A., Villalta, G. K. G., & Tamayo, E. A. R. (2022). Determinación del contenido nutricional de harina de banano aplicando el proceso de deshidratación. *Journal of science and research*, 7, 11-27. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2833/2334>

Sánchez, S. S. C., López, W. E. R., & Rojas, M. P. R. (2020). Caracterización del almidón de sagú (*Canna indica*) fermentado para la implementación de procesos agroindustriales. *Revista Sistemas de producción agroecológicos*, 11(2), 23-51.

Sinhmar, A., Pathera, A. K., Sharma, S., Nehra, M., Thory, R., & Nain, V. (2023). Impact of various modification methods on physicochemical and functional properties of starch: a review. *Starch-Stärke*, 75(1-2), 2200117. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.202200117>

Sindhu, R., Devi, A., & Khatkar, B. S. (2021). Morphology, structure and functionality of acetylated, oxidized and heat moisture treated amaranth starches. *Food Hydrocolloids*, 118, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106800>

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://www.mdpi.com/2073-4360/15/14/2990>

Thanyapanich, N., Jimtaisong, A., & Rawdkuen, S. (2021). Functional Properties of Banana Starch (*Musa* spp.) and Its Utilization in Cosmetics. *Molecules*, 26(12), 3637. <https://doi.org/10.3390/molecules26123637>

Teodoro, A.P., Mali, S., Romero, N. y de Carvalho, G. M. (2015). Cassava starch films containing acetylated starch nanoparticles as reinforcement: physical and mechanical characterization. *Carbohydrate Polymers*, 126: 9-16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25933516/>

Túquerres, J. A. M. (2021). *Obtención de una película biodegradable a partir de almidón modificado de yuca amarilla (Manihot esculenta) y papa yana shungo (Solanum andígena) para el uso en alimentos.*[Bacheor's Thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Torres Becerril, M., Carmona García, R., & Aguirre Cruz, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 905-912.

Torres-Oblitas, K., Sancho, A. M., & Gozzi, M. S. (2018). Caracterización físico-química de harina obtenida a partir de cáscaras de banana (*Musa paradisiaca*) y su aceptabilidad en budines sin gluten. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(2), 22-29. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/59>

Ventura-Avalos, Y., Díaz-Soto, R., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2024). Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y aplicaciones. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 311-325. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.024>

Veloso, C. M., Santos, L. S., & Ferreira, B. R. C. (2022). Chemical, Morphological, Thermal and Technological Properties of Acetylated White Inhambu Starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 246-257. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02190-7>

Vergara-Espinoza, K. A., & Mejia, V. N (2023). *Efecto de recubrimiento de almidón de banana acetilado y aceite esencial de romero en parámetros de conservación de tomate Cherry.* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22732?mode=full>

Villanueva, M., Lamo, D.B, Harasym., J., & Ronda, F. (2018). Structural characteristics and physicochemical properties of acetylated starch. *Carbohydrate Polymers*, 201, 1-8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718309500?via%3Dihub>

Wang, S., Li, C., & Copeland, L. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1237-1252. <https://earthwormexpress.com/wp-content/uploads/2021/01/Starch-Retrogradation-A-Comprehensive-Review.pdf>

Zhang, Y., Chen, X., & Zhang, Y. (2019). Comparative study on the physicochemical properties of starches from green and ripe bananas. *Carbohydrate Polymers*, 207, 579-586.

[https://www.researchgate.net/publication/327588499\\_Comparison\\_of\\_Physicochemical\\_Properties\\_of\\_Starches\\_from\\_Flesh\\_and\\_Peel\\_of\\_Green\\_Banana\\_Fruit](https://www.researchgate.net/publication/327588499_Comparison_of_Physicochemical_Properties_of_Starches_from_Flesh_and_Peel_of_Green_Banana_Fruit)

Zapata, D., Gutierrez, A. L. L., Pinday, W. T., & Barrios, E. M. C. (2020). Biopelícula a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*). *Revista Científica Pakamuros*, 8(4).

<https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/113/113>

## ANEXOS



Anexo 1: Secado del almidón en estufa



Anexo 2: Molturación del almidón secado



Anexo 3: % H almidón



Anexo 4: Propiedades funcionales



Anexo 5. Acetilación del almidón



Anexo 6. Pesado de cajas petri



Anexo 7: Titulación almidón



Anexo 8: Grupos acetilos



Anexo 9: Molturación almidón



Anexo 10: Limpieza del Ph metro



Anexo 11: Centrifugación de almidón