



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA  
DE ALIMENTOS**

**MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria  
blanca (*arracacia xanthorrhiza*) y camote (*ipomoea batatas*)

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Agroindustria  
con mención en Tecnología de Alimentos

**Autor:**

Juan David Moposita Tenelema, Ing.

**Tutora:**

Villacrés Poveda Clara Elena PhD.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2023**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación. “Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)”, presentado por Juan David Moposita Tenelema, para optar por el título Magíster en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos.

### CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, octubre, 10, 2023



PhD. Clara Elena Villacrés Poveda

C.I. 1801504422

## APROBACIÓN TRIBUNAL

El Trabajo de Titulación: “Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)” ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, noviembre, 14, 2023.



.....  
Ing. Zeila Eliana Zambrano Ochoa Mg.

CC. 0501773931

Presidente del tribunal



.....  
Ing. Vicente Alberto Guerrón Troya Mg.

C.I. 0921044426

Lector 2



.....  
Ing. María Monserrath Morales Padilla Mg

CC. 1803691144

Lector 3

## **DEDICATORIA**

Le dedico este título a Dios, a mi querido padre por brindarme su apoyo y dedicación a mi madre por su esfuerzo y amor, a los profesores por siempre brindarme de su apoyo, compartiendo de sus conocimientos para llegar hacer un profesional de excelencia, también por siempre estar en los momentos más difíciles de mi vida y por siempre inculcarme en el camino del bien con sus sabios consejos su confianza y por su paciencia incondicional por todo lo antes mencionado estoy eternamente agradecido.

## **AGRADECIMIENTO**

Le doy las gracias a Dios por brindarme salud, sabiduría y vida permitiéndome cumplir mis metas como profesional, también a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido ser parte de esta prestigiosa institución formándome como profesional, a la Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP), a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional ya que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos de mi vida y finalmente a todos mis amigos que compartimos alegrías, tristezas y momentos únicos que quedan marcado para siempre en mi memoria.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, noviembre, 14, 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan David Moposita Tenelema', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Juan David Moposita Tenelema

C.I. 1804446795

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente Trabajo de Titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 14, 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan David Moposita Tenelema', is written over a horizontal dotted line.

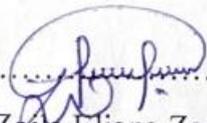
Ing. Juan David Moposita Tenelema

C.I. 1804446795

## **AVAL DEL PRESIDENTE**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga, noviembre, 14, 2023



.....  
Ing. Zoila Eliana Zambrano Ochoa Mg.

C.I. 0501773931

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Título:** “Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)”

**Autor:** Moposita Tenelema Juan David Ing.

**Tutora:** Villacrés Poveda Clara Elena PhD.

### RESUMEN

El presente informe de investigación tuvo como objetivo el estudio de la obtención de almidón modificado por método químico y físico, a partir de almidón nativo de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*). El almidón es una fuente abundante y fácilmente disponible de materias primas biológicas y se utiliza ampliamente en las industrias alimentaria, médica y textil. Para la caracterización del almidón en estado nativo de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) se utilizó cuatro eco-pitos distintos (19001, 19012, 19086, 18994) y dos eco-pitos de camote (*Ipomoea batatas*), (Morado y toquecita), las variables de estudio para cada tubérculo fueron, (el contenido de amilosa, almidón total, humedad, índice de adsorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y el índice de blancura). Los resultados obtenidos por medio de esta investigación en estado nativo difieren uno de otro en los eco- tipos zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*), el almidón modificado químico y físico fueron sometidos a las mismas variables de estudio para finalmente realizar una comparación del almidón en estado nativo con el almidón modificado y determinar que el mejor método fue la modificación física ya que presentó diferencia estadística una de otro.

**Palabras Clave:** almidón, tubérculo, modificación química, camote morado.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA  
DE ALIMENTOS**

**Title:** “Study of the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*)”

**Author:** Moposita Tenelema Juan David Ing.

**Tutor:** Villacrés Poveda Clara Elena PhD.

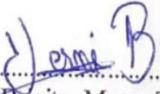
**ABSTRACT**

The objective of this research report was to study the production of modified starch by chemical and physical methods, from native starch of white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*). Starch is an abundant and readily available source of biological raw materials and is widely used in the food, medical and textile industries. For the characterization of the native state of white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*), four different eco-pits (19001, 19012, 19086, 18994) and two sweet potato (*Ipomoea batatas*) eco-pits (Morado and Tocacita) were used. Study variables for each tuber were (amylose content, total starch, humidity, water adsorption index, solubility, swelling power and whiteness index). The results obtained through this research in the native state differ from each other in the ecotypes white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*), the chemical and physical modified starch were subjected to the same study variables to finally carry out a comparison of starch in its native state with modified starch and determining that the best method was physical modification since it presented a statistical difference from each other.

**Key words:** starch, tuber, chemical modification, purple sweet potato.

Jennifer Brigitte Maza Zhuma con cédula de identidad número: 1726652751 Licenciado/a en: CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS con número de registro de la SENESCYT: 1031-2019-2063586; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “Study of the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*)” de: Juan David Moposita Tenelema aspirante a magister en Agroindustria con Mención en Tecnologías de Alimentos,

Loja, octubre, 17, 2023

  
.....  
Jennifer Brigitte Maza Zhuma  
C.I. 1726652751

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>4</b>
3.1 Tipo y diseño de la investigación .....	4
3.2 Unidad de análisis .....	4
3.3 Población de estudio .....	5
3.4 Tamaño de la muestra .....	5
3.5 Obtención del almidón nativo .....	5
3.6 Modificación del almidón nativo .....	6
3.7 Modificación Física .....	6
3.8 Modificación Química .....	6
3.9 Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento .....	8
3.10 Determinación de humedad (%) .....	9
3.11 Análisis de color .....	9
3.12 Almidón total .....	10
3.13 Porcentajes de grupos acetilos .....	11
3.14 Análisis estadístico .....	12
<b>4. RESULTADOS.</b> .....	<b>12</b>
<b>5. DISCUSIÓN.</b> .....	<b>18</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>20</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>22</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Formulación para determinar el contenido de amilosa del almidón modificado.....	8
<b>Tabla 2</b>	Grupos acetilos y grados de sustitución obtenidos en la modificación química de los almidones de zanahoria blanca. ....	12
<b>Tabla 3</b>	Características físico-químicas del almidón nativo de Zanahoria.....	13
<b>Tabla 4</b>	Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de zanahoria blanca. ....	15
<b>Tabla 5</b>	Grupos acetilos y grados de sustitución obtenidos en la modificación química de los almidones de camote.....	16
<b>Tabla 6</b>	Análisis físico químico del almidón obtenido utilizando camote. ....	17
<b>Tabla 7</b>	Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de camote.....	17

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Características físico-químicas del almidón de zanahoria blanca y camote en estado nativo y modificado.....	30
<b>Anexo 2</b>	Evidencia enviada a la revista .....	32

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título del Trabajo de Titulación Elaboración:** Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)

**Línea de investigación:** Proceso tecnológico bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria.

**Proyecto de investigación asociado:** Manejo de cosecha y poscosecha de productos agrícolas y estudio en los procesos de transformación de residuos agrícolas.

**Grupo de Investigación:** UTC – INIAP 2023

## 2. INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos son fuentes ricas en almidón (16-24 %), mismo que proporciona el 75 a 80 % de la ingesta calórica total en todo el mundo. Es una de las principales fuentes de alimentos, piensos y materias primas industriales. A partir de estos se elaboran productos como fideos de almidón, alimentos de panadería, bocadillos, confitería, jarabe de almidón (Manzanillas, 2020)

Tiene como objetivo las caracterizaciones de los almidones en estado nativo para su comparación con los almidones modificados por método físico y químico para finalmente determinar cuál es el método más efectivo de modificación para implementar en las industrias de alimentos con el fin de incentivar a los agricultores al cultivo de estos tubérculos y dar un valor agregado a los mismos.

En la industria de alimentos, el almidón natural (llamado también nativo,) se usa, sólo o mezclado, por lo general, la mayoría de los almidones nativos son poco utilizados a nivel industrial como aditivo alimentario, debido al alto grado de retrogradación y a la baja estabilidad térmica que presentan, además, este tipo de almidones experimentan fácilmente pérdida de agua o sinéresis, proporcionan geles de poco cuerpo, cohesivos y gomosos cuando son calentados, y geles no deseables cuando se enfrían, los almidones nativos proporcionan geles de poco cuerpo, cohesivos y gomosos cuando son calentados, y geles no deseables cuando se enfrían. (Martínez, 2020).

El almidón modificado presenta propiedades mejoradas en relación con el almidón nativo, lo que le confiere ventajas en varias aplicaciones industriales y culinarias, por lo cual se han desarrollado nuevas estrategias de modificación con el objetivo de mejorar en mayor medida las propiedades del almidón, y así aumentar su funcionalidad y, por lo tanto, su aplicación. (CHILEBIO, 2016)

En la industria alimentaria, el almidón juega un papel vital en el desarrollo de productos alimenticios como materia prima y aditivo alimentario, posee propiedades químicas y funcionales que le otorgan la capacidad de gelatinizar, espesar, estabilizar y formar películas. (IALIMENTOS, 2023)

Las aplicaciones técnicas del almidón son muy diversas, este polvo se utiliza en la fabricación de pastas para papel tapiz, cintas adhesivas y adhesivos para telas. En la vida cotidiana, el almidón se usa como talco para bebés, como limpiador de ventanas, para pulir la plata, para eliminar manchas de aceite de textiles, así como también para aliviar la piel irritada después de picaduras de insectos y quemaduras solares. (Parra, 2019)

Las posibilidades de fomentar el uso y consumo dependen de sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales para orientar sus posibles usos y aplicaciones. Las extracciones de almidón es una de las formas más comunes de industrializar; las diferencias en la tasa de extracción están determinadas por el contenido intrínseco de almidón en cada especie. (Manzanillas, 2020)

Con este tipo de modificación se logra mejorar las características funcionales de los almidones nativos, porque poseen atractivos atributos funcionales que los nativos no pueden proveer, por ejemplo: dan espesamiento en un pudding, o como estabilizadores evitan la separación de fases en un sistema como la mayonesa. Además, pueden representar una ventaja económica, ya que el uso de gomas puede ser remplazado por el empleo de los almidones modificados. (thefoodtech, 2023)

Teniendo en cuenta que el almidón nativo también tiene algunas limitaciones, como la tendencia a la retrogradación, la baja estabilidad al congelamiento-deshielo y la sensibilidad al pH y a las enzimas, la presente investigación plantea, la modificación del almidón nativo con la finalidad de mejorar sus características para diversificar o ampliar sus usos industriales o culinarios, ya que la modificación le confieren una serie de ventajas y beneficios en comparación con el almidón nativo. (Ocaña, 2019)

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### ***3.1 Tipo y diseño de la investigación***

La presente investigación fue de tipo documental-experimental, puesto que combino el uso de fuentes documentales con la aplicación de experimentos controlados para obtener datos y contrastar hipótesis. Es una forma de integrar la información teórica con la evidencia empírica, buscando explicar las causas y los efectos de los fenómenos estudiados.

El método de recolección de datos fue de tipo cuantitativo que fue un procedimiento que permite obtener información numérica y medible sobre un fenómeno o problema de investigación. Los métodos cuantitativos se basan en el uso de instrumentos estandarizados y estructurados, como encuestas, cuestionarios, sondeos, pruebas, observaciones y experimentos, que permiten recoger datos de forma sistemática y precisa. porque se realizaron pruebas físicas y químicas del almidón extraído. Es decir, se utilizó este método porque se realizaron pruebas físicas y químicas del almidón extraído.

#### ***3.2 Unidad de análisis***

Fue importante definir claramente la unidad de análisis y de observación antes de empezar la investigación, ya que determinaron el diseño, el método y el análisis de los datos. También se tuvo que evitar dos errores comunes que se producen cuando se confunden las unidades de análisis y observación: la falacia ecológica y la falacia individualista. La falacia ecológica ocurrió cuando se hacen afirmaciones sobre los individuos basándose en datos agregados a nivel grupal. La falacia individualista ocurrió cuando se hicieron afirmaciones sobre los grupos basándose en datos individuales. El objetivo de estudio es la modificación del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) en eco-tipos (19001, 19012, 18994, 18968) y de camote (*Ipomoea batatas*) en dos eco-tipos (Toquecita y Morado) para lo cual se realizaron diferentes análisis en las que se variaran las condiciones de operación como fueron (el contenido de amilosa, almidón total, humedad, índice de adsorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y el índice de blancura) de acuerdo a cada eco-tipo mostro diferencia una de la otra.

### **3.3 Población de estudio**

La población de estudio correspondió los almidones de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) con cuatro eco-tipos (19001; 19012; 18994; 18968) y 2 eco-tipos de camote (*Ipomoea batatas*), (morado y toquecita); proporcionado por el (INIAP). Se efectuó un muestreo para seleccionar muestras representativas, teniendo como su principal característica el grado de madurez en el que se encuentran las raíces, libre de manchas de descomposición.

### **3.4 Tamaño de la muestra**

Se realizó la extracción del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*); por vía húmeda siendo el método más utilizado para la obtención de almidón, tomaron datos de la muestra inicial y se determinó el rendimiento de cada eco-tipo.

### **3.5 Obtención del almidón nativo**

Para la obtención del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*). El INIAP proporciono la materia prima. Se observó las características de las raíces: Forma oblonga, color de la pulpa blanca, de tamaño mediano y buena textura, características de la materia prima.

Para el presente estudio se empleó 8 kg de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y 8 Kg de camote (*Ipomoea batatas*), libre de impurezas y raíces dañadas. Las raíces seleccionadas se lavaron, pelaron y se cortaron en finas rodajas., las cuales se trituraron en una licuadora marca OSTER Modelo BLSTMG-W00-013, 450W de potencia. Luego el producto obtenido se filtró con la ayuda de un lienzo, realizando varios lavados del residuo con agua destilada para retirar todo el almidón.

Se continuó con la sedimentación de los lavados durante 4 horas, se separó el agua presente y la pasta resultante se sometió a secado en estufa marca MEMMERT por 24 horas a 48°C; finalmente se molió el almidón resultante en un molino manual marca CORONA y se almacenó en bolsas con cierre hermético de polipropileno en ambiente seco.

### ***3.6 Modificación del almidón nativo***

Los polisacáridos de almidón se empaquetaron en los empaques de aluminio con la finalidad de proteger de la humedad de este modo conservar el almidón para las previas modificaciones. Debido a estas limitaciones en términos de cantidad, economía mecánica y química, se realizan dos métodos de conversión de almidón natural, conversión química, y conversión física con el fin de extender y dar un valor agregado a los almidones de zanahoria y camote.

### ***3.7 Modificación Física***

Se colocó 25 g de almidón en un vaso de precipitación de 50 ml. Se añadió 15 ml de agua destilada, se agitó durante 5 minutos y se llevó al microondas durante 40 segundos. La masa obtenida se colocó en envases de plástico con tapa y se congeló durante 24 horas. La muestra congelada se liofilizó durante 5 días, luego se trituró y molió, previo a los diferentes análisis.

### ***3.8 Modificación Química***

Se tomo 5 g de muestra seca, se añadió 25 ml de agua destilada, se agitó el conjunto durante 30 minutos en un vaso de precipitación de 50 ml. El pH se ajustó a 8 usando NaOH 0.1 N. Se adiciona lentamente 0.15 g de ácido acético mientras se ajusta el pH de 8 a 8.5 utilizando NaOH 6N. La reacción se mantuvo por 3 minutos, y se detuvo añadiendo HCl 0.4 N. El almidón se lavó con agua destilada y se centrifugo durante 15 minutos a 1500 rpm, se realizaron tres lavados para eliminar la acidez.

En una caja Petri se colocó la muestra centrifugada y se dejó en la estufa a 50°C durante 30 minutos. Con un mortero trituró la muestra, y se secó por una hora. Se suspendió 1 g de muestra seca modificada en un vaso de precipitación de 250 ml con 50 ml de agua destilada, se agitó el conjunto durante 15 minutos. Se agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se neutralizo con NaOH 0.1 N hasta que se mantuvo permanentemente un color ligeramente rosado. Se añadió 12 ml de NaOH 0.45N y se agito la suspensión con agitación magnética durante 30 minutos

La muestra saponificada de valoró con HCL 0.45 N usando fenolftaleína como indicador. Se valoro al mismo tiempo un blanco utilizando almidón nativo de la misma especie.

## *Caracterización del almidón*

### *Determinación del contenido de amilosa*

#### Materiales y Equipos

- Espectrofotómetro
- Balón volumétrico
- Pipetas volumétricas
- Etanol al 95%
- Hidróxido de sodio 1 N
- Ácido acético 1 N
- Solución de yodo 2%

#### Método

-Se pesó 100mg de muestra y se colocó en un balón volumétrico de 100ml, después añadir 1 ml de etanol al 95% y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N, evitando que la muestra se pegue en las paredes del balón. Permitir la gelatinización sucede a temperatura ambiente, durante 24 horas, sin agitación.

-Al terminar la gelatinización, completamos con 100 ml con agua destilada.

-Se tomó una alícuota de 5 ml en un balón volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua destilada, añadir 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo 2%, luego mezclar bien y completar a 100 ml con agua destilada.

-Se dejó que la reacción suceda a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 20 minutos, leer la absorbancia a 620 nm.

-Preparación del blanco: en un balón volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua destilada, agregar 5 ml de hidróxido de sodio 0,09 N. Continuar como con las muestras añadiendo 1 ml de ácido acético 1 N, 2 ml de solución de yodo al 2% y completar a 100ml con agua destilada.

-Curva estándar: Se pesó separadamente 100 mg de amilosa y 100 mg de amilopectina en balones volumétricos de 100 ml, después agregar 1 ml de etanol al 95 % y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N a cada balón, dejar a temperatura ambiente durante 24 horas, se preparó la curva estándar de acuerdo con la tabla 1.

**Tabla 1** *Formulación para determinar el contenido de amilosa del almidón modificado*

<b>Composición de la mezcla (ml)</b>			
<b>% Amilosa</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>	<b>NaOH 0.09N</b>
0	0 ml	9 ml	1ml
10	1 ml	8 ml	1ml
20	2 ml	7 ml	1ml
30	3 ml	6 ml	1ml
40	4 ml	5 ml	1ml
50	5 ml	4 ml	1ml

### **3.9 Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento**

Se taró las cajas Petri a 90°C por 4 horas o a 75°C por una noche. Se pesó 2.5 g de muestra en un tubo de centrifuga que contiene un agitador magnético. Realizar el análisis por duplicado. Mientras se pesó las muestras, calentar 30 ml de agua destilada, a 30°C, y también tener el baño a temperatura controlada de 30°C. Se agregó 30 ml de agua a cada tubo, y agitar bien en el equipo de agitación. En lo posible debe evitarse utilizar una varilla de vidrio.

Se incubó en el baño con agitación durante 30 minutos. Después se secó bien los tubos y ponerlos en la centrífuga. Centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos. Después de centrifugar se debe tener separados el gel y el sobrenadante. Si no es así, centrifugar por 10 minutos más a 6000 rpm. Decantar el sobrenadante en un tubo de centrifuga graduado y medir el volumen. No descartar el gel del tubo.

Se filtró el sobrenadante. Se descartó lo que queda en el papel filtro. Después se tomó 10 ml del filtrado y secar por 24 horas a 90°C en las cajas Petri. Pesar el gel que quedo en el tubo. En el caso de que no se haya separado el sobrenadante, pesar todo lo que queda en el tubo.

#### **Cálculos**

Índice de absorción de agua (IAA)

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Índice de solubilidad en agua (ISA):

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles}}{\text{Peso de la muestra}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Poder de hinchamiento (PH):

$$PH = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso del soluble}} \quad \text{Ecu (3)}$$

### **3.10 Determinación de humedad (%)**

Equipo y Materiales

- Determinador de humedad de la marca torbal
- pinzas
- Plato de aluminio
- Balanza digital

Método

Se abrió la cámara de secado del analizador de humedad. Con la ayuda del asa del sartén hueco, coloque el plato de aluminio desechable, sobre el área (rejilla) de pasada. Presione la tecla T para tarar (encerar) el plato de aluminio desechable.

Después colocar 1g de muestra sobre el plato de aluminio desechable, levante el plato de aluminio con ayuda del asa del sartén hueco, para distribuir uniformemente la muestra. Cierre la cámara de secado y tomamos la muestra en (%).

### **3.11 Análisis de color**

Equipo y materiales

- Caja de cristal
- Analizador de color modelo DR LANGE

Método

Se colocó 10g de muestra en la caja de cristal. Se encero el colorímetro portátil. Se determinó el índice de color de cada muestra. Las mediciones de color de las

muestras se llevaron a cabo utilizando un colorímetro portátil. Cada muestra se escaneó en diferentes lugares, para determinar los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , de acuerdo con el sistema uniforme de espacio de color CIELab. El índice de blancura (IB) se calculó teniendo en cuenta dichos parámetros de acuerdo con la ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{((100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

$L^*$ : Representa el índice de luminosidad (100=blanco y 0= negro),

$a^*$ : índice de longitud de onda predominante, mide los colores de rojo (+) a verde (-), y el 0 es neutro,

$b^*$ : índice de longitud de onda predominante, mide los colores de amarillo (+) a azul (-) y 0 es neutro.

### **3.12 Almidón total**

Materia y Equipo

- KOH 4M
- HCl 2M
- Tampón acetato sódico 0.4M, pH 4.75
- Centrifuga
- Balanza analítica
- Tubos de centrifuga

Método

- Se pesó 50 mg de muestra en tubos de centrifuga de 50 ml de capacidad. Se añadió 3 ml de agua destilada y 3 ml de KOH 4M, mezclar y agitar vigorosamente a temperatura ambiente durante 30 minutos. Se añadió aproximadamente 5.5 ml de HCl 2M y 3 ml de tampón acetato sódico 0.4 M ajustar a pH 4.75. Se añadió 30  $\mu$ l de suspensión de amilasa. Mezclar e incubar a 60°C durante 45 minutos en un baño con agitación.
- Se centrifugó durante 15 minutos las muestras y recoger el sobrenadante en matraces aforados. Se aforo a 50 ml usando agua destilada y tomamos 0.50 ml de muestra y aforamos en otro balón con agua destilada a 50ml. En un tubo de ensayo

colocamos 1 ml de muestra aforada y 2 ml de antrona, agitamos vigorosamente. En una olla con agua hervimos a 80°C, colocamos una gradilla y colocamos en ella las muestras durante 5 minutos. Se leyó la absorbancia y se calculó utilizando la formula.

$$X = \frac{(\text{valor de abs}) + 0,0612}{0,0238} \quad \text{Ec.(5)}$$

$$\% \text{Glucosa} = \left( \frac{(x) * (50\text{ml}) * (\text{factor de dilución}) + 1L}{1000\text{ml} * L * 0,050\text{g}} \right) \frac{100}{1000} \quad \text{Ec.(6)}$$

$$\% \text{Almidón total} = (\% \text{glucosa}) * 0,9 \quad \text{Ec. (7)}$$

### 3.13 Porcentajes de grupos acetilos

El porcentaje de grupos acetilos representa el porcentaje en peso de grupos acetil en el almidón en base seca. El cálculo del porcentaje de grupos acetilos es:

$$\% \text{ Acetil} = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) * N \text{ de HCL} * 0,043}{\text{Gramos de muestra (base seca)}} * 100 \quad \text{Ec.(8)}$$

Donde: 0,043 = miliequivalente del grupo acetil.

Grados de sustitución

El grado de sustitución (GS) es el número de grupos hidroxilos reemplazados por unidad de glucosa. La técnica propuesta para calcular el GS es la siguiente.

$$\text{Grados de sustitución (GS)} = \frac{162 * \% \text{Acetil}}{4300 - (42 * \% \text{Acetil})} \quad \text{Ec.(9)}$$

Donde:

162= Peso molecular de la unidad de anhídrido glucosa 4300= 100\* peso molecular del grupo Acetil

42= Peso molecular del grupo acetyl -1

### 3.14 Análisis estadístico

En el presente estudio se utilizó un análisis de diseño completo al azar (ANOVA) de múltiples factores, mediante los programas estadísticos infostad y R Studio. Para el contrasté de normalidad de los factores se utilizó la técnica Kruskal Wallis.

**Tabla 2** Grupos acetilos y grados de sustitución obtenidos en la modificación química de los almidones de zanahoria blanca.

Eco-tipo	% de grupos acetilos (15g de ácido acético x 3 minutos)	Grados de sustitución
<b>Zb19001</b>	0,87	0,033
<b>Zb18968</b>	1,16	0,044
<b>Zb19012</b>	0,56	0,021
<b>Zb18994</b>	1,45	0,055

Fuente: Moposita J (2023)

En la modificación química de los almidones es fundamental determinar los porcentajes de acetilación y grados de sustitución. Los almidones con bajo (GS) (< a 0,2) son utilizados usualmente en las industrias alimentarias, ya que confieren texturas, consistencia y estabilidad a los productos. En cambio, los almidones con un (GS) mayores a 1,0 son utilizados como sustitutos de acetato de celulosa. (Trela, rid.unam.edu, 2018).

## 4. RESULTADOS

### *Características físico-químicas del almidón de zanahoria blanca en estado nativo*

Se procedió a realizar un análisis de normalidad a los datos obtenidos en la investigación, y se verificó cumplan con la condición de normalidad. En la tabla 3 se observan los resultados del ANOVA y TUKEY para cada una de las variables en estudio

**Tabla 3** Características físico-químicas del almidón nativo de Zanahoria.

Eco-tipo	Amilosa (%)	Almidón (%)	Humedad	Índice de adsorción de agua	Solubilidad (%)	Poder de hinchamiento	Índice de blancura
Zb19001	30.16±0.06 <sup>a</sup>	57.8±2.88a	9.99±0, 24a	3.42±0.21a	0.53±0,04b	3.43±0, 21a	88.35±0.14b
Zb18968	30.94±0.06 <sup>b</sup>	63.18±2.88ab	9.95±0, 24a	3.82±0.21aab	0.32±0,04a	3.79±0,21ab	88.18±0.14b
Zb19012	37.26±0.06 <sup>d</sup>	67.79±2.88ab	9.8±0, 24a	3.43±0.21a	0.52±0,04b	3.45±0,21ab	87.33±0.14a
Zb18994	35.22±0.06 <sup>c</sup>	69.24±2.88b	10.45±0, 24a	4.27±0.21b	0.5±0,04 b	4.27±0,21b	88.62±0.14b
p-valué	<0,0001	<0,0001	0,2582	0,0235	0,002	0,0314	<0,0001

Fuente: Moposita J (2023)

### Contenido de Amilosa en el almidón nativo de *A. xantorrhiza*

La amilosa es uno de los componentes del almidón, es una cadena lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4. Esta estructura determina su mayor digestión con respecto a la amilopectina. Cuando se calienta en agua tiende a formar geles más fuertes y viscosos, esta propiedad es útil en la preparación de salsas y budines.

Los valores experimentales (Tabla 3) muestran variación significativa de la amilosa por efecto del genotipo ( $p < 0,0001$ ), con un menor valor (30,16%) para el genotipo Zb19001. En este caso se privilegian los valores menores, debido a que un mayor contenido de amilosa puede tener un impacto negativo, al aumentar los niveles de azúcar en la sangre. En contraste con este resultado, se determinó que el eco-tipo Zb-19012 presentó el mayor contenido de amilosa ( $37.26 \pm 0.06^d$ ), resultado que influirá en su mayor facilidad de cocción y digestibilidad.

### Contenido de Almidón total en estado nativo de *A. xantorrhiza*

Los valores experimentales (Tabla 3) indican las variaciones significativas del almidón total con un mayor valor de ( $69.24 \pm 2.88b$ ) para el genotipo Zb 18994. se tiene en cuenta al valor más alto de los diferentes eco-tipos debido a que un alto contenido de almidón total en los análisis potencializa al aprovechamiento de varios procesos industriales, este compuesto por partículas pequeñas conocidas como gránulos cuya composición son características de cada especie y son resistentes a la digestión de acuerdo con. (Lourdes, 2022)

### **Contenido de humedad en el almidón nativo de *A. xantorrhiza***

El contenido de humedad en el genotipo Zb 19012 es de  $(9.8 \pm 0, 24^a)$  por lo que la humedad no presentó diferencias estadísticas, entre eco-tipos de zanahoria blanca ( $p=0.2582$ ), debido al proceso uniforme de secado al que se sometieron los almidones de todos los eco-tipos en estudio, el almidón en estado nativo de baja humedad (Zb 19012) funciona perfectamente como un agente de control de los productos en polvo esto debido a su fuerte estructura cristalina que adquiere la amilosa al ser sometido a las altas temperaturas ayudando a la conservación del producto final según nos indica (Poltec, 2022)

### **Contenido de Índice de adsorción de agua en el almidón nativo de *A. xantorrhiza***

Los valores experimentales de la (Tabla 3) indican las variaciones significativas del índice de absorción de agua en el genotipo Zb 18994 con un valor mayor ( $4.27 \pm 0.21b$ ) siendo el más aceptado esto debido a que entre mayor sea el índice de absorción de agua del almidón nos beneficia a la absorción del granulo de almidón en las fracciones de los almidones (Huamani, 2020)

### **Contenido de Solubilidad en el almidón nativo de *A. xantorrhiza***

La solubilidad del almidón en estado nativo en la (Tabla3) indican las variaciones significativas con el mayor ( $0.53 \pm 0,04b$ ) que pertenece al genotipo Zb 19001 debido al tamaño de los gránulos del almidón el cual índice en la solubilidad del almidón en el momento de reaccionar con el agua y disolverse en ella (Granados C., 2014)

### **Contenido de Poder de hinchamiento en el almidón nativo de *A. xantorrhiza***

La (Tabla3) indica que la variación más alta perteneciente al genotipo Zb 18994 con el valor de ( $4.27 \pm 0,21b$ ), la cual una de las características más fundamentales en el proceso de obtención de almidón nativo y modificado es su capacidad de hincharse cuando se los someten a los procesos industriales de alimentos con la característica principal que se busca alcanzar es la capacidad de atrapar la mayor cantidad de agua dentro de ella. (Aragón, 2013)

### Contenido de Índice de blancura en el almidón nativo de *A. xantorrhiza*

Los valores expuestos en la (Tabla 3) indican que el eco-tipo Zb 18994 presento mayor contenido del índice de blancura ( $88.62 \pm 0.14b$ ), en lo que influencia para el proceso de blanqueamiento del almidón, mientras mayor sea el blanco del almidón el valor de la luminosidad es mayor y más aceptado para los procesos industriales, la oxidación de las cadenas de carbono insaturadas influye en los cuerpos colorantes del almidón según los resultados de (Aquateknica, 2023)

### Grado de modificación del almidón

Se procedió a realizar un análisis de normalidad a los datos obtenidos a la calidad del almidón de acuerdo con el grado de modificación, y se determinó que las variables siguen una distribución normal. En la tabla 4 se observa el análisis ANOVA mediante TUKEY para cada una de las variables en estudio.

**Tabla 4** Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de zanahoria blanca.

Tratamientos	Amilosa	Almidón	Humedad	Índice de adsorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Índice de blancura
Almidón Nativo	$29.52 \pm 0.05a$	$87.22 \pm 2.49b$	$11.06 \pm 0.21b$	$2.38 \pm 0.18a$	$0.2 \pm 0.03a$	$2.4 \pm 0.18a$	$89.27 \pm 0.13b$
Modificación física	$33.17 \pm 0.05b$	$50.21 \pm 2.49a$	$12.140.21c$	$5.79 \pm 0.18c$	$0.63 \pm 0.03b$	$5.83 \pm 0.18b$	$86.01 \pm 0.13a$
Modificación química	$37.49 \pm 0.05c$	$56.06 \pm 2.49a$	$6.940.21a$	$3.04 \pm 0.18b$	$0.58 \pm 0.03b$	$2.98 \pm 0.18a$	$89.08 \pm 0.13b$
p-value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Fuente: Moposita J (2023)

**Análisis:** En la tabla 4, se evidencia los resultados de los análisis físico-químicos (amilosa, almidón, humedad, índice de absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento e índice de blancura) realizados a las diferentes variedades (eco tipos) de zanahoria blanca y la incidencia a nivel estadístico, se puede evidenciar que todas las variables analizadas muestran un análisis estadístico significativo, al presentar los p-valúe menor al nivel de significancia (0.05), esto indica que al menos uno de los promedios de los tratamientos es diferente de otras.

Al comparar los promedios mediante el método TUKEY se pudo determinar que

los tratamientos (física y química) utilizados para la modificación de los almidones de la zanahoria blanca en comparación con el almidón nativo, incidieron a nivel estadístico, por lo que se evidencia diferentes grupos de estudio como se observa en la tabla 4. Dentro de la modificación química se identificó mayor presencia de amilosa, e índice de blancura; mientras que en la modificación física se determinó mayor presencia de humedad, índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento. Dentro del análisis de almidón nativo resaltó la presencia de almidón, e índice de blancura; con lo expuesto, se determina que el mejor método para la modificación de almidones es el método físico.

Dentro de los tres tratamientos sometidos a las mismas variables de estudio como son (amilosa, almidón total, humedad, poder de hinchamiento, solubilidad, índice de adsorción de agua y el índice de blancura) se toma como mejor tratamiento de modificación al método físico debido a que la Amilosa, humedad, entre menor sea su porcentaje menor es mejor y en el Almidón total, índice de absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento, índice de blancura entre mayor es su porcentaje mejor para los diferentes procesos industriales.

#### **Análisis fisicoquímico del camote.**

Se procedió a realizar un análisis de normalidad a cada uno de los datos obtenidos en la investigación, y se determinó que las variables siguen una distribución normal.

**Tabla 5** Grupos acetilos y grados de sustitución obtenidos en la modificación química de los almidones de camote.

<b>Eco-tipo</b>	<b>Porcentaje de grupos acetilos (15g de ácido acético x 3 minutos)</b>	<b>Grados de sustitución</b>
<b>Toquecita</b>	0,77	0,029
<b>Morado</b>	0,67	0,025

*Fuente: Moposita J (2023)*

Los porcentajes de (GA) y (GS) de los eco-tipos de camote se encuentran dentro de los parámetros de (<0,2) son utilizados para la industria de alimentos propuesto por (Trela, rid.unam, 2018)

**Tabla 6** Análisis físico químico del almidón obtenido utilizando camote.

Eco-tipos	Amilosa	Almidón	Humedad	Índice de adsorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Índice de blancura
Camote T.	37,15±0,08a	71,43±1,62a	7,86±0,24a	2,25±0,08a	0,45±0,17a	2,26±0,09a	86,86±0,14a
Camote M.	40,37±0,08b	72,24±1,62a	9,71±0,24b	3±0,08b	1,02±0,17b	3,03±0,09b	90,04±0,14b
p-valué	<0,0001	0,7307	<0,0001	<0,0001	0,0317	<0,0001	<0,0001

Fuente: Moposita J (2023)

**Análisis:** En la tabla 6, muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos en estudio y la incidencia a nivel estadístico, se evidencia que el almidón no incide estadísticamente entre las variedades del camote; mientras que, las demás variables de estudio (amilosa, humedad, índice de absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento e índice de blancura) se evidencia que los promedios difieren una de otras ya que el p-valué es inferior al nivel de significancia (0.05). Mediante la comparación de medias por TUKEY se determinó que el almidón no presentó diferencia entre los grupos de estudio y a nivel estadístico, mientras que las demás variables presentaron incidencia estadística ya que se evidencia dos grupos de estudio en las variedades del camote. Se determinó que la mejor variedad que potencia los niveles de amilosa, humedad, índice de absorción de agua, solubilidad, poder hinchamiento e índice de blancura es el camote M.

**Tabla 7** Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de camote.

Tratamientos	Amilosa	Almidón	Humedad	Índice de adsorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Índice de blancura
Modificación física	40,96±0,1c	65,88±1,98a	9,87±0,3b	3,56±0,1a	0,63±0,21a	3,64±0,1b	87,18±0,18a
Modificación química	32,26±0,1a	65,93±1,98a	8,78±0,3ab	2,4±0,1b	0,62±0,21a	2,33±0,1a	89,29±0,18b
Almidón Nativo	40,06±0,1b	83,7±1,98b	7,71±0,3b	1,91±0,1c	0,96±0,21a	1,96±0,1a	88,29±0,18c
p-valué	<0,0001	<0,0001	0,0007	<0,0001	0,4458	<0,0001	<0,0001

Fuente: Moposita J (2023)

**Análisis:** En la tabla 7, muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos en estudio y la incidencia a nivel estadístico de las variables en estudio, se evidencia que los promedios difieren una de otras ya que el p-valúe es inferior al nivel de significancia (0.05). Mediante la comparación de medias por TUKEY se determinó las variables en estudio difieren cada uno en relación con los tratamientos utilizados para modificación del almidón, esto se evidencia ya que la tabla presenta diferentes grupos estadísticos en cada uno de ellos, esto indica que al utilizar métodos físicos y químicos para modificar el almidón nativo inciden a nivel estadístico.

Dentro de la modificación física se puede resaltar que las variables amilosa, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento fueron los valores quienes resaltaron en la investigación; por ende, se selecciona como mejor método para la modificación de almidones de camote. Las variables de estudio (amilosa, almidón total, humedad, poder de hinchamiento, solubilidad, índice de adsorción de agua y el índice de blancura) de los tres tratamientos se toma como mejor tratamiento de modificación al método físico debido a que la Amilosa, humedad, entre menor sea su porcentaje menor es mejor y en el Almidón total, índice de absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento, índice de blancura entre mayor es su porcentaje mejor para los diferentes procesos industriales.

## **5. DISCUSIÓN**

### **Efecto del tipo de materia prima utilizada**

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede apreciar que el tipo de tubérculo influye directamente en alguna de las características fisicoquímicas del almidón obtenido, y esto tiene que ver con la composición inicial de cada uno de los tubérculos que varía de acuerdo con el tipo y de acuerdo con el estado de madurez de este, ya que el almidón se obtiene principalmente de la cantidad de glucógeno que exista en el tubérculo. Estos resultados son explicados con lo que indica el autor (Granados, 2014) que en comparación entre distintos tipos de tubérculos las raíces de camote tienen un alto contenido de carbohidratos; sus concentraciones de almidón varían de 55.8 a 73.8 g/100 g expresado en peso seco siendo la sacarosa, glucosa y fructosa los principales azúcares en los tubérculos frescos, y la maltosa, producida durante la cocción a través de la conversión del almidón, por lo que el

camote reporta contenido más alto de almidón en comparación con la zanahoria. Además de que el autor (Mbougoung, 2012), indica que la mayoría de las características fisicoquímicas del almidón son producto del tamaño de grano y del contenido de amilosa de los tubérculos que se utiliza para producir el almidón y que tiene que ser tomado en cuenta para mejorar los procesos productivos.

Evaluada alguna de las características fisicoquímicas se pudo evidenciar que el contenido de amilosa y almidón son las características que mayor influencia tienen en la calidad final del almidón, ya que son los principales indicativos de la calidad de la materia prima utilizada. Es así que comparando los resultados obtenidos con los que reporta (Martinez, 2018), que obtuvo valores al contenido de amilosa iguales a 29,11, 24,34 y 26,17% cuando obtuvo el almidón utilizando como materia prima papas de variedades SOL, YACH y CO, respectivamente, mientras que el autor (Torruco, 2018) obtuvo almidón de los tubérculos makal, camote, yuca y sagú y reporto valores de amilosa iguales 23,6, 19,6, 17,0 y 22,7% respectivamente, lo que es correspondiente con la presente investigación y muestra la diferencia en el contenido de amilosa de acuerdo al tipo de materia prima que se utilice para obtener el almidón. Con respecto al contenido de almidón el autor (Torruco, 2018) obtuvo contenido total de almidones al utilizar makal y sagú reporto valores iguales a 76,4 y 77,3%, respectivamente, además que al utilizar camote y yuca reporto contenido de almidón total igual a 80,4 y 83,0%, respectivamente con lo que se evidencia que el camote es una fuente útil para obtener almidón con buenas características.

### **Efecto del tipo de modificación**

Como se muestra con el estudio estadístico el contenido de amilosa, almidón, humedad, índice de absorción del agua y solubilidad está relacionado directamente con el tipo de modificación que se utilice para tratar el almidón, y esto tiene su explicación en lo que indica (Fang, 2020), la modificación física se ha constituido en una estrategia eficiente para mejorar las propiedades funcionales de los almidones nativos y con ello permitir su uso en aplicaciones específicas, estas modificaciones están directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Al realizar la modificación química del almidón se hidroliza los grupos hidroxilos lo cual permite la ruptura de la estructura interna

de las cadenas de glucosa y con la difusión de los compuestos químicos abra mayor espacio intermolecular y permite reaccionar con diferentes estructuras como es el caso de la amilasa, lo que aumenta su contenido en el producto final. Además, el autor (Aristizábal, 2017), dice que los almidones físicamente modificados son principalmente producidos por reacciones de esterificación, siendo esta la reacción que involucra la sustitución de grupos hidroxilos por grupos éster. El grado de sustitución está relacionado con la modificación físicas e indica el promedio del número de sustituciones por unidad de anhídrido glucosa en el almidón.

En este sentido la modificación física mejora las características del almidón. Como por ejemplo los resultados para el contenido de amilosa son superiores a los reportados por (Benelli, 2019) que al realizar la modificación física del almidón obtenido de la papa y del maíz reporto medias iguales a 19.90 y 19% respectivamente, y son superiores a los reportados por (Guzman, 2018) que reportó valores iguales a 24% al realizar la modificación química del almidón utilizando como materia prima zanahoria, lo que comprueba la alta eficiencia del proceso de modificación obtenido en la presente investigación. Así mismo para el contenido de almidón el autor (Soto, 2020), reporto valores de almidón total igual a 68.13 y 73.42% al almidón modificado físicamente y al almidón sin modificación respectivamente, mientras que el autor (Sosa, 2015) obtuvo resultados iguales a 68.40 y 39.35% al obtener almidón sin modificación y modificado químicamente respectivamente, lo cual es semejante a los resultados obtenidos en la presente investigación y muestra el efecto que tiene la modificación del almidón en sus características finales.

## **6. CONCLUSIONES**

Se logro determinar cuál de los eco-pitos de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*) fueron los más óptimos para la modificación y su caracterización utilizando los diferentes análisis de estudios como fueron (el contenido de amilosa, almidón total, humedad, índice de adsorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y el índice de blancura). En el estudio

del efecto del tipo de modificación en la producción de almidón se encontró diferencias estadísticas en el total de pruebas realizadas al producto final y en donde los valores más altos en la mayoría de las pruebas fueron reportados por el almidón sometido a un proceso de modificación física en los dos tubérculos utilizados en la investigación.

Las condiciones óptimas para la modificación del almidón en estado nativo de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*) pueden depender del método específico de modificación que estés considerando en este caso se utilizó el método físico y químico sometidos ambos a las mismas variables de estudio según (Rincón, 2017) hace referencia que el almidón que típicamente se utiliza en alimentos contiene 0,5-2,5% de grupos acetilos. La FDA limita a 2,5% los grupos acetilos en almidones acetilados para uso alimentario, los valores son estrictamente estudiados antes de ser utilizado en las industrias de alimentos.

En el análisis de las características finales que presente el almidón modificado por el método químico y físico de acuerdo con el tipo de tubérculo del que se extrajo se puede afirmar que no se apreció un tubérculo que reportara mayores respuestas en la generalidad de las pruebas, pero el que se apreció que tuvo un comportamiento óptimo fue el almidón modificado por método físico, el conjunto de características reportadas en el proceso investigativo permite concluir que el almidón nativo sometido a la modificación física es el más óptimo para su aplicación en distintas industrias de alimentos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agredo, D., Chávez-Jáuregui, R. N., & Bosques-Vega, Á. (2017). Características funcionales del almidón modificado del corno de la yautía (*xanthosoma* spp) del cultivar nazareno. *Latin America Symposium Food Science* . <https://doi.org/https://proceedings.science/slaca/slaca-2017/papers/caracteristicas-funcionales-del-almidon-modificado-del-corno-de-la-yautia-xantho?lang=en>
- Alqah, H., Alamri, M., Mohamed, A., Hussain, S., Qasem, A., Ibraheem, M., & Ababtain, I. (2020). The Effect of Germinated Sorghum Extract on the Pasting Properties and Swelling Power of Different Annealed Starches. *Polymeres*, *12*(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym12071602>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, *19*(1), 19-29. <https://doi.org/https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art04.pdf>
- Anchundia, M. Á., Pérez, E., & Torres, F. (2019). Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente. *Revista Chilena de Nutrición*, *46*(2), 137-143. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182019000200137>
- Aracelly, P.-M. K. (2016). *Procesamiento de la zanahoria blanca Arracacia xanthorrhiza bancroft como alimento de segunda gama*. Universidad Técnica de Ambato.

<https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5649/2/03%20EIA%20387%20ARTICULO%20PERIODISTICO.pdf>

Aristizábal. (2017). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *FAO*, 33-39.

Babu, A. S., Parimalavalli, R., Jagannadham, K., & Sudhakara -Rao, J. (2015). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *J Food Sci Technol.*, 52(9), 5745–5753. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007%2Fs13197-014-1650-x>

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

Benelli, F. E., Gianna, V., & Calandri, E. (2019). Determinación de amilosa en almidones mediante el método amperométrico. *Revista Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 6 (1), 20-22. <https://doi.org/https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/16779>

Carrasquero-Durán, A., & Navas, P. (2015). determinación de amilosa en presencia de amilopectina en almidón de arroz aplicando la espectroscopía derivada. *Alimentos, Ciencia e Investigación*, 23(1), 11-20. [https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10998/1/Carrasquero-Dur%C3%A1n%20y%20Navas%20%282015%29\\_ACI-23%281%2911-20.pdf](https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10998/1/Carrasquero-Dur%C3%A1n%20y%20Navas%20%282015%29_ACI-23%281%2911-20.pdf)

Chen, M., Yi, Z., Ruixue, Y., Wenting, Z., Jian, S., Zhimin, M., . . . Yunfeng, L. (2022). Establishment of a quality evaluation system of sweet potato starch

- using multivariate statistics. *Nutrition and Food Science Technology*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1025061>
- Gerçekaslan, K. E. (2020). Hydration level significantly impacts the freezable - and unfreezable -water contents of native and modified starches. *Food Science and Technology*, *41*(2), 426-431.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.04520>
- Granados. (2014). Funcionales properties sago starch (Maranta arundinacea). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 61-64.
- Guzman-Condarco, B. (2018). *Extracción y modificación química de almidón de papa (solanum tuberosum) para su aplicación en la industria boliviana*. Universidad Mayor de San Andrés.  
<https://doi.org/http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18112>
- Indrianti, N., & Pranoto, Y. (2018). Physicochemical properties of modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Proceedings of the 4th international symposium on applied chemistry*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.5064339>
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 391-399.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia*

*Environmental Sciences*, 23, 164-167.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>

León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S., & Herrera- Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-626,.

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

Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>

Manzanillas-Rojas, L. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomoea batata) para aplicaciones alimentarias [Tesis pregrado]*. Universidad Técnica de Ambato.

<https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28375/1/AL%20680.pdf>

Martins-Fonseca, L., Mello, S. L., Guerra-Dias, A. R., & Da Rosa-Zavareze, E. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>

Montano-Aragón, A. (2013). *Modificación física del almidón de maíz a escala nanométrica para su uso en la Industria Alimentaria [Tesis de posgrado]*.

Universidad

Veracruzana

[.https://doi.org/https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46810/MontanoAragonAnabell.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://doi.org/https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46810/MontanoAragonAnabell.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Murillo-Martínez, M., Alvis-Bermúdez, A., & Arrazola-Paternina, G. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684>

Ocaña-Palacios, I. A. (2019). *Caracterización Fisicoquímica, Nutricional y Reológica De Cultivos Andinos Infrautilizados*. Universidad Técnica de Ambato. <https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30002/1/AL%20707.pdf>

Pacheco- De Delahaye, m., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame ( *dioscorea alata* ). *Interciencia*, 24(4). [https://doi.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000400012](https://doi.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400012)

Parra, M., Quintero-Munévar, P., & Hernández, A. (2015). Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Ciencia y Tecnología* , 5(2), 39–45. . [https://doi.org/http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/mandioca/b1\\_mandioca.pdf](https://doi.org/http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_mandioca.pdf).

- Peñaranda, O., Perilla, J., & Algecira, N. (2018). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Rev Ing e Inv*, 28(3), 47–52. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/iea/v23n3/v28n3a06.pdf>
- Pinzon, M. I., Sanchez, L. T., & Villa, C. C. (2020). Chemical, structural, and thermal characterization of starches from four yellow Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots produced in Colombia. *Haliyon*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04763>
- Rocha, T., Carneiro, A. P., & Landi-Franco, C. M. (2020). Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(2), 544-551. <https://doi.org/https://www.scielo.br/j/cta/a/xBRDfxHJy7pRkSkpS6ry8QF/?format=pdf#:~:text=The%20Peruvian%20cuarrot%20starch%20displayed,depending%20on%20the%20botanical%20source.>
- Salas-Cuesta, A. (2018). *Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza ) modificado por irradiación uv-c. [Tesis de posgrado. Universidad de Tolima.* <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/c95a7e1f-a41f-4031-a63f-597c92259f4b>
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2022). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *J Food Sci Technol*, 49(1), 22–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0310-7>
- Shubhendu, S., Divya, M., Alak-Kumar, B. S.-C., & Niranjana, C. (2015). Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two

- contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Food Chemistry*, 173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.172>
- Urbina-Dicao, K., Santacruz-Terán, S., Guapi-Álava, G., Revilla-Escobar, K., & Aldas-Morejón, J. . (2023). Caracterización fisicoquímica de granos de cereales y funcionalidad de harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 33-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.5708>
- Valcárcel, Y. B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2019). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3). <https://doi.org/https://www.scielo.br/j/bjps/a/Y7S58ndpf5TzqDQkMfGMb rf/?format=pdf&lang=en>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutricion*, 45(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, W., Hu, A., Li, J., Liu, G., Wang, M., & Zhen, J. (2022). Comparison of physicochemical properties and digestibility of sweet potato starch after two modifications of microwave alone and microwave-assisted L-malic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 614-621. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.215>

Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018).  
Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet  
potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, 168-176.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>

**Anexo 1** Características físico-químicas del almidón de zanahoria blanca y camote en estado nativo y modificado.

Fotografía 1: determinación del contenido de amilosa (curva de amilosa)



Fuente: Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 2: determinación del contenido de amilosa. (curva de amilosa)



Fuente: Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 3: determinación del contenido de amilosa (espectrofotómetro)



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 5: procedemos a determinar la humedad de los diferentes eco-tipos.



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 6: Obtención de almidón modificado por el método físico por liofilización.



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 7: Obtención de almidón modificado por el método químico.



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 8: Secado del almidón modificado por método químico.



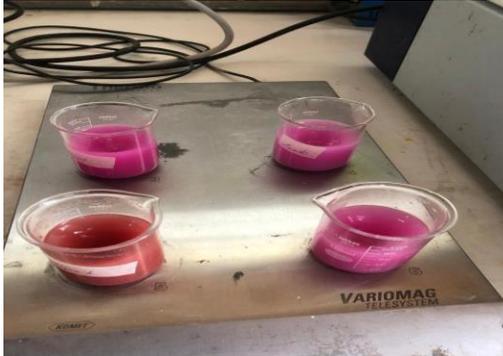
Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 9: Obtención de almidón modificado por método químico.



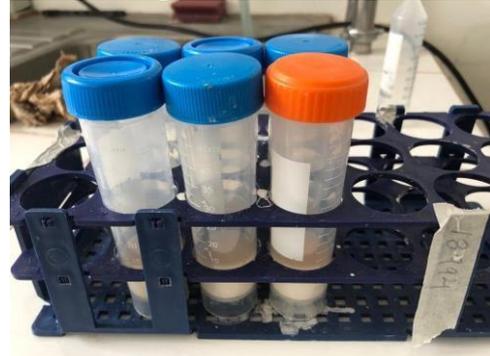
Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 10: Determinación de GS y GA modificación química.



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

Fotografía 6: Obtención de almidón modificado por el método físico.



Fuente Iniap; Moposita, J.2023

## **Anexo 2 Evidencia enviada a la revista**

**Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)**

**Study of the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*)**

Juan David Moposita Tenelema<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0009-0006-9491-7718>,  
[juan.moposita6795@utc.edu.ec](mailto:juan.moposita6795@utc.edu.ec)

Clara Elena Villacrés Poveda<sup>2</sup>, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-9660-5845>,  
[elenavillacres9@hotmail.com](mailto:elenavillacres9@hotmail.com)

María Monserrath Morales Padilla<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-9048-1538>,  
[maria.morales1144@utc.edu.ec](mailto:maria.morales1144@utc.edu.ec)

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi

<sup>2</sup> Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias: Quito, Pichincha, Ecuador

**Autor de correspondencia:** [juan.moposita6795@utc.edu.ec](mailto:juan.moposita6795@utc.edu.ec)

### **Resumen**

El almidón es una fuente abundante y fácilmente disponible de materias primas biológicas y se utiliza ampliamente en las industrias alimentaria, médica y textil. La presente investigación planteó estudiar la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*A. xanthorrhiza*) y camote (*I. batatas*). Para ello, se aplicó un Diseño Completamente al Azar con múltiples factores. Donde se empleó la zanahoria blanca y el camote morado. Para el contrasté de normalidad de los factores se utilizó la técnica Kruskal Wallis, mediante los programas estadísticos InfoStat y R Studio. Se determinó que el almidón de zanahoria blanca por medio de modificación química presentó mayor contenido de amilosa (37,49); almidón total (56,06) e índice de blancura (89,08); mientras que, el almidón obtenido por modificación física mostró mayor humedad (12,14), índice de

absorción de agua (5,79); solubilidad (0,63) y poder hinchamiento (5,83). Por otro lado, en el camote, el almidón modificado físicamente obtuvo mayor concentración de amilosa (40,96); humedad (9,87), índice de absorción de agua (3,56); poder de hinchamiento (3,64), en comparación al método químico, que se determinó un mayor índice de blancura (89,29).

**Palabras Clave:** almidón, camote, modificación química, zanahoria blanca

### **Abstract**

Starch is an abundant and readily available source of biological raw materials and is widely used in the food, medical and textile industries. The present investigation aimed to study the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*). For this purpose, a completely randomized design with multiple factors was applied. White carrot and purple sweet potato were used. The Kruskal Wallis technique was used to test the normality of the factors, using the statistical programs InfoStat and R Studio. It was determined that white carrot starch obtained by chemical modification presented higher amylose content (37.49); total starch (56.06) and whiteness index (89.08); while starch obtained by physical modification showed higher humidity (12.14), water absorption index (5.79); solubility (0.63) and swelling power (5.83). On the other hand, in sweet potato, the physically modified starch obtained higher amylose concentration (40.96); moisture (9.87), water absorption index (3.56); swelling power (3.64), compared to the chemical method, which determined a higher whiteness index (89.29).

**Key words:** starch, sweet potato, chemical modification, white carrot.

## **Introducción**

Las raíces y tubérculos son excelentes fuente de almidón (16-24 %), proporciona entre 75 a 80 % de la ingesta calórica total, se utilizan como materia prima en la elaboración de fideos, productos de panadería, confitería, bocadillos, jarabes de almidón, entre otros (León-Méndez et al., 2020).

La zanahoria blanca es un tubérculo de originario de América del sur, perteneciente a la familia Apiaceae, contiene alrededor de 67,29 g de almidón por cada 100 g de materia seca (Parra et al., 2015). En Ecuador se cultiva en los valles interandinos desde los 700 hasta los 3200 msnm. Es la única umbelífera de propagación vegetativa domesticada en América (Aracelly, 2016).

Por otro lado, el camote, es uno de los principales cultivos alimentarios del mundo, principal en las zonas tropicales y subtropicales (Shubhendu et al., 2015). En Ecuador, es cultivado por pequeños agricultores, principalmente en la Sierra con el 42 % , Costa con el 47 % y Amazonía con 11 %, siendo las provincias de Santa Elena, Guayas y Manabí las de mayor producción de esta raíz tuberosa.

El almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza, se encuentra en gran variedad de tejidos de origen botánico (tubérculos, semillas y hojas) (Peñaranda et al., 2018). Estructuralmente el almidón es un polímero de unidades de D-glucosa), compuesto por una mezcla de polisacáridos conformada por amilopectina (80%), amilosa (20%) y una fracción minoritaria ( 1% - 2%) de conformación no glucosídica como lípidos y minerales, dependiendo de su origen botánico (León-Méndez et al., 2020).

Teniendo en cuenta que el almidón nativo también tiene algunas limitaciones, como la tendencia a la retrogradación, la baja estabilidad al congelamiento-deshielo y la sensibilidad al pH (Ocaña, 2019). Es por ello, que el objetivo de la presente investigación se basó en estudiar la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*).

## **Materiales y métodos**

## **Material vegetal**

El almidón de zanahoria blanca (*A. xanthorrhiza*) y de camote (*I. batatas*) se obtuvieron en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), ubicada a 13 km. al sur de Quito, Ecuador con una Latitud: 0°22'S, Longitud: 78°33'0 y a una altura de 3050 m.s.n.m.

## **Análisis estadístico:**

En el presente estudio se utilizó un análisis de Diseño Completo al Azar (DCA) de múltiples factores. Donde se empleó la zanahoria blanca y el camote morado. Para el contrasté de normalidad de los factores se utilizó la técnica Kruskal Wallis, mediante los programas estadísticos InfoStat y R Studio.

## **Obtención del almidón nativo**

Para la obtención del almidón se empleó 8 kg de cada materia prima, libre de impurezas y raíces dañadas. Las raíces seleccionadas se lavaron, pelaron y se cortaron en rodajas finas, las cuales se trituraron en una licuadora “OSTER-BLSTMG-W00-013”. Luego se filtró, realizando varios lavados del residuo con agua destilada para retirar todo el almidón. Se continuó con la sedimentación del lavado por un periodo de 4 horas, se separó el agua presente y la pasta resultante, posteriormente se secó en estufa “MEMMERT” por un lapso de 24 horas a 48°C. Finalmente se molió el almidón y se almacenó en bolsas con cierre hermético de polipropileno calibre de 0,002 m.

## **Modificación del almidón nativo**

### **Modificación Física**

Se colocó 25 g de almidón y se añadió 15 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos y se llevó a un microondas durante 40 segundos. La masa obtenida se colocó en envases de plástico con tapa y se congeló durante 24 horas. La muestra congelada se liofilizó durante 5 días, luego se trituró y molió, previo a los diferentes análisis.

### **Modificación Química**

Se tomo 5 g de muestra seca y se añadió 25 ml de agua destilada, seguido se agitó constantemente durante 30 minutos. Luego el pH se ajustó a 8 usando NaOH 0,1 N y se adicionó lentamente 0,15 g de ácido acético mientras se ajusta el pH de 8 a 8,5 utilizando NaOH 6N. La reacción se mantuvo por 3 minutos y se detuvo añadiendo HCl 0,4 N. El almidón se lavó con agua destilada y se centrifugo por un periodo de 15 minutos a 1500 rpm, se realizaron tres lavados para eliminar la acidez.

En una caja Petri se colocó la muestra centrifugada y se dejó en la estufa a 50 °C durante 30 minutos. Con un mortero trituro la muestra y se secó por una hora, luego se colocó 1 g de muestra seca modificada en un vaso de precipitación de 250 ml con 50 ml de agua destilada, se agitó el conjunto por 15 minutos. Se agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se neutralizó con hidróxido de sodio al 0,1 N hasta obtener una coloración rosa. Se añadió 12 ml de NaOH 0.45N y se agito la suspensión con agitación magnética durante 30 minutos

La muestra saponificada de valoró con cloruro de hidrógeno al 0,45 N utilizando fenolftaleína como indicador. Se valoro al mismo tiempo un blanco utilizando almidón nativo de la misma especie.

### **Caracterización del almidón**

**Contenido de amilosa:** se determinó siguiendo de acuerdo con la metodología establecida por Carrasquero-Durán & Navas, (2015) con algunas modificaciones. Se peso 100 mg de muestra y se colocó en un balón volumétrico de 100ml, después añadió 1 ml de etanol (95 %) con 9 ml de hidróxido de sodio 1 N. Para el proceso se gelatinización se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente, al finalizar el tiempo transcurrido se agregó 100 ml de agua destilada, seguido se añadió 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo 2 %. Se dejó que la reacción suceda a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 20 minutos, se tomó la lectura de la absorbancia a 620 nm.

Para la preparación del blanco, en un balón volumétrico de 100 ml se adicionó 50 ml de agua destilada con 5 ml de hidróxido de sodio 0,09 N, se continúa con el proceso antes expuesto, donde se añadió 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo al 2% y agregó 100 ml de agua destilada. Para la curva estándar: Se pesó 100 mg de amilosa y 100 mg de amilopectina en balones volumétricos de 100 ml, después se adicionó 1 ml de etanol (95 %) y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N, se dejó en reposo por 24 horas a temperatura ambiente, se preparó la curva estándar de acuerdo con la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Formulación para determinar el contenido de amilosa del almidón modificado*

<b>Composición de la mezcla (ml)</b>			
<b>% Amilosa</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>	<b>NaOH 0.09N</b>
0	0 ml	9 ml	1ml
10	1 ml	8 ml	1ml
20	2 ml	7 ml	1ml
30	3 ml	6 ml	1ml
40	4 ml	5 ml	1ml
50	5 ml	4 ml	1ml

*Fuente: elaboración propia*

**Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento:** se pesó 2,50 g de muestra en un tubo de centrifuga que contiene un agitador magnético, se agregó 30 ml de agua a cada tubo y se agitó durante 30 minutos mediante el equipo de agitación. Después se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos. Se decantó el sobrenadante en un tubo de centrifuga graduado y se midió el volumen, seguido se filtró el sobrenadante. Posteriormente, se tomó 10 ml del filtrado y se colocó a secar

por un periodo de 24 horas a una temperatura de 90 °C. Se pesó el gel que quedo en el tubo (Urbina-Dicao et al., 2023). Finalmente, se aplicó las ecuaciones (Ecu 1, Ecu 2 y Ecu 3) según corresponda:

### **Cálculos**

Índice de absorción de agua (IAA)

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra}} \text{ Ecu 1}$$

Índice de solubilidad en agua (ISA)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles}}{\text{Peso de la muestra}} \text{ Ecu 2}$$

Poder de hinchamiento (PH):

$$PH = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso del soluble}} \text{ Ecu 3}$$

**Determinación de humedad (%):** se determinó mediante estufa, donde se colocó 25 g de muestra a una temperatura de 130 °C por un periodo de 3 horas (Alvis et al., 2008).

### **Resultados y discusión**

En la Tabla 2 se observan los resultados de las características fisicoquímicas (amilosa, almidón, humedad) y funcionales (índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento) del almidón nativo y modificado de zanahoria blanca.

Para el contenido de amilosa, determinó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tipos de almidones estudiados, demostrando que el mayor contenido se situó en el almidón modificado químicamente (37,49 %) mientras que, el almidón en estado nativo obtuvo menor cantidad de amilosa (29,53 %). Un aspecto que afecta la resistencia del almidón es el tamaño y tipo de granulo. Por otro lado, De acuerdo con Rocha et al., (2020) en su

investigación determinaron un contenido de amilosa de 18,7 % en almidón de zanahoria blanca y 28,9 % en almidón de papa. Generalmente la mayoría de los almidones contienen entre 20 - 30 % de amilosa (Villaruel et al., 2018).

En relación al contenido de almidón total se demostró el almidón en estado nativo (87,22 %) fue estadísticamente superior al almidón modificado físicamente (50,21 %). Denotándose una disminución significativa en su contenido al ser sometido a una modificación. Coincidiendo con Pacheco- De Delahaye & Techeira (2009) quienes determinaron en almidón de ñame (*Dioscorea alata*) obtuvo 98,27 % y en almidón modificado por tratamiento alcalino situó 94,67 %. Además, Pinzon et al., (2020) establecieron valores que oscilaron entre 96,80 a 98,40 % de almidón total para la subvariedad de Arracacha amarilla (*Xanthorrhiza bancroft*).

Respecto al contenido de humedad en los diferentes estados de almidón, al presentar diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) situaron un rango entre 6,94 - 12,14 % para almidón nativo y modificado físicamente. Martins-Fonseca et al., (2021) al evaluar almidones de papa y camote tratados (modificación física) obtuvieron una humedad de 10 y 15 %. Así como también Sharma et al., (2022) presentaron un contenido de 10 % en almidón de zanahoria amarilla.

El contenido de índice de absorción de agua presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde la mayor absorción de agua se situó en el almidón modificado físicamente con 5,79 %; en comparación, al almidón nativo que obtuvo 2,38 %. Los almidones modificados físicamente presentaron mayor índice de absorción de agua, debido a que fueron pregelatinizados, de esta forma los gránulos hinchados es un indicador de una mayor retención de agua (Gerçekaslan, 2020). Autores como Kaisangsri et al., (2016) al incluir orujo de zanahoria a fin de mejorar la expansión y la calidad nutricional de los extruidos de almidón de maíz determinaron un índice de absorción de agua de 5,25 %.

Respecto a índice de solubilidad en agua, se determinó que, el almidón físicamente modificado (0,63 %) obtuvo una solubilidad superior en comparación al estado nativo (0,20

%) y químicamente modificado (0,58 %). Estos resultados guardan relación con Valcárcel et al., (2019) quienes, al estudiar almidones de tubérculos andinos en estado nativo y modificado, obtuvieron 0,32 y 0,59 para oca (*Oxalis tuberosa*); 0,22 y 0,91 en olluco (*Ullucus tuberosus*) y 0,15 y 0,72 en mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

En cuanto al poder de hinchamiento se mostró que la mayor incidencia se situó en el almidón físicamente modificado (5,83 g agua/g almidón) a diferencia del almidón nativo que situó valor inferior (2,38 g agua/g almidón). Esta variable está estrechamente relacionada con índice de absorción, donde el almidón en estado nativo absorbe mayor capacidad de agua y por ende mayor es el poder de hinchamiento del granulo. Es necesario enfatizar que, los resultados obtenidos guardan relación con Alqah et al., (2020) quienes presentaron una capacidad de hinchamiento de 6,80 (g agua/g almidón) en almidones recocidos de sorgo germinado. La característica principal de los almidones modificados es su capacidad de hincharse cuando se los someten a los procesos industriales de alimentos con la característica principal que se busca alcanzar es la capacidad de atrapar la mayor cantidad de agua dentro de ella (Montano-Aragón, 2013).

El almidón nativo y modificado químicamente presentaron un mayor índice de blancura con valores de 89,27 % y 89,09 % respectivamente, siendo estadísticamente diferente ( $p < 0,05$ ) al almidón físicamente modificado que obtuvo 86,01 %. Autores como Agredo et al., (2017) presentaron un índice de blancura menor en almidones extruido y fermentado (82 % y 89 %) en comparación al almidón nativo (91 %). Es necesario enfatizar que, mientras mayor sea el blanco del almidón y luminosidad más aceptado es para los procesos industriales, la oxidación de las cadenas de carbono insaturadas influye en los cuerpos colorantes (Gerçekaslan, 2020)

**Tabla 2.**

*Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de zanahoria blanca.*

<b>Parámetro</b>	<b>Almidón</b>	<b>Modificación</b>	<b>Modificación</b>
	<b>Nativo</b>	<b>física</b>	<b>química</b>
Amilosa (%)	29,52±0,05a	33,17±0,05b	37,49±0,05c
Almidón (%)	87,22±2,49c	50,21±2,49b	56,06±2,49a
Humedad (%)	11,06±0,21b	12,14±0,21c	6,94±0,21a
Índice de absorción de agua (%)	2,38±0,18a	5,79±0,18c	3,04±0,18b
Índice de solubilidad en agua (g agua/g almidón)	0,20±0,03a	0,63±0,03b	0,58±0,03b
Poder de hinchamiento (%)	2,40±0,18a	5,83±0,18b	2,98±0,18b
Índice de blancura	89,27±0,13b	86,01±0,13a	89,08±0,13b

*Las diferentes letras minúsculas asociadas con los valores dentro de la misma columna*

*indican una diferencia significativa al nivel de  $p < 0,05$ .*

En la Tabla 3. se observan los resultados de las características fisicoquímicas (amilosa, almidón, humedad) y funcionales (índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento) del almidón nativo y modificado de camote morado.

Respecto al contenido de amilosa, se determinó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tipos de almidones estudiados, observando que el mayor valor se presentó en el almidón obtenido de camote mediante modificación física (40,96 %) en comparación al almidón obtenido por modificación química que situó un menor contenido de amilosa con 32,26 %. En este sentido la modificación física mejora las características del almidón. Según Benelli et al., (2019) reportó un contenido de amilosa inferior al realizar la modificación física del

almidón de papa y de maíz con resultados de 19,00 a 19,90 % respectivamente. Además, Guzman-Condarco (2018) obtuvo 24 % de amilosa en almidón obtenido mediante modificación química.

En cuanto al contenido de almidón total, se observó que los almidones en estado nativo con 83,70 % fue estadísticamente superior a los almidones obtenidos mediante modificación física y química con valores de 65,88 y 65,93 respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo reportado de 45 a 80 % para raíces y tubérculos en estado natural (García-Méndez et al., 2016). Según, Indrianti & Pranoto (2018) obtuvieron 56 % y 65 % de contenido de almidón total en almidón de camote modificado mediante tratamiento térmico y húmedo. Se hace énfasis que, el almidón total de las harinas permite determinar su aplicación en diferentes productos alimenticios (Anchundia et al., 2019).

El contenido de humedad en los diferentes tipos de almidón, al presentar diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) situaron un rango entre 7,71 y 9,87 % en almidón nativo y modificado físicamente. La mayor cantidad de humedad en el almidón físicamente modificado se debe al proceso de pregelatinizado, donde el granulo absorbe mayor cantidad de agua. Estos valores son inferiores a los determinados por (Chen et al, 2022) que obtuvieron un contenido de humedad en almidón de camote entre 11,03 a 15,12%. Además, Indrianti & Pranoto (2018) reportaron 12,34 % en almidón nativo de camote morado.

El contenido de índice de absorción de agua presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde la mayor absorción de agua se posicionó en el almidón modificado físicamente con 3,56 %, mientras que, el menor índice se situó en el almidón nativo con 1,91 %. La disminución de índice de absorción está influenciada por el método de modificación de los almidones, especialmente donde se emplean procesos de pregelatinización, gelatinización, entre otros, donde el granulo tiende a absorber humedad. Concordando con Babu et al., (2015) en su investigación determinaron un índice de absorción en agua entre 1,82 % y 2,46 % para almidón nativo de camote y modificado con ácidos orgánicos e inorgánicos respectivamente.

En el índice de solubilidad en agua el tipo de almidón no difirió significativamente ( $p > 0,05$ ) entre sus resultados, determinando valores que oscilaron entre 0,62 a 0,96 %. Estos resultados son inferiores a los reportado por Murillo-Martínez et al., (2021) quienes para almidón de camote morado y amarillo determinaron 2,91 y 0,92 % consecutivamente. La solubilidad del almidón depende de varios factores tales como la fuente de extracción, el método de modificación, la fuerza inter asociativa entre sus moléculas y la capacidad de hinchamiento (Manzanillas-Rojas, 2018; Zhang et al., 2018).

En relación al poder de hinchamiento de los almidones, se denotó que, al existir diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) el mayor valor se determinó en el almidón modificado físicamente con 3,64 g agua/g almidón; mientras que, el almidón en estado nativo y el almidón modificado químicamente obtuvieron valores similares con 1,96 y 2,33 g agua/g almidón. El poder hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua del almidón dependiendo de la naturaleza y el método al cual haya sido sometido. De acuerdo con Majzoobi & Farahnaky (2021), el almidón granulado presentaron un menor capacidad de hinchamiento, en comparación con, el almidón modificado. Según Kusumayanti et al., (2015) determinaron un poder de hinchamiento entre 3,02 y 9,37 g agua/g almidón en harina de yuca y camote consecutivamente.

Respecto al índice de blancura se determinó que, el modificado químicamente con 89,29 % fue estadísticamente diferente ( $p < 0,05$ ) del almidón obtenido físicamente que situó 87,18 %. Esto se debe la modificación química evita la oxidación del almidón. Wang et al., (2022) mencionan un índice de blancura promedio de 95 % en almidón de camote modificado con ácido L-málico asistido por microondas. El almidón físicamente modificado y nativo tienen algunas limitaciones como la retrogradación, baja tolerancia al proceso y turbidez del gel que limita su uso en la industria de los alimentos (Bashir & Aggarwal, 2019).

**Tabla 3.**

*Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de camote*

<b>Parámetro</b>	<b>Almidón</b>	<b>Modificación</b>	<b>Modificación</b>
	<b>Nativo</b>	<b>física</b>	<b>química</b>
Amilosa (%)	40,06±0,1b	40,96±0,1c	32,26±0,1a
Almidón (%)	83,70±1,98b	65,88±1,98a	65,93±1,98a
Humedad (%)	7,71±0,3a	9,87±0,3c	8,78±0,3b
Índice de absorción de agua (g agua/g almidón)	1,91±0,1c	3,56±0,1a	2,4±0,1b
Índice de solubilidad en agua (%)	0,96±0,21a	0,63±0,21a	0,62±0,21a
Poder de hinchamiento (%)	1,96±0,1a	3,64±0,1b	2,33±0,1a
Índice de blancura (%)	88,29±0,18b	87,18±0,18a	89,29±0,18c

*Las diferentes letras minúsculas asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de  $p < 0,05$ .*

### **Conclusiones**

El almidón de zanahoria blanca por medio de modificación química presentó mayor contenido de amilosa (37,49); almidón total (56,06) e índice de blancura (89,08); mientras que, el almidón obtenido por modificación física mostró mayor humedad (12,14), índice de absorción de agua (5,79); solubilidad (0,63) y poder hinchamiento (5,83). Por otro lado, en el camote, el almidón modificado físicamente obtuvo mayor concentración de amilosa (40,96); humedad (9,87), índice de absorción de agua (3,56); poder de hinchamiento (3,64), en comparación al método químico, que se determinó un mayor índice de blancura (89,29). Por ello, se concluye que la zanahoria blanca y camote, debido a su fácil deterioro y poca participación en la industria, la extracción de su almidón y posible aplicación en la industria

alimentaria se convierte en una alternativa interesante para el desarrollo de productos innovadores.

## Bibliografía

- Agredo, D., Chávez-Jáuregui, R. N., & Bosques-Vega, Á. (2017). Características funcionales del almidón modificado del corno de la yautía (*xanthosoma* spp) del cultivar nazareno. *Latin America Symposium Food Science* . <https://doi.org/https://proceedings.science/slaca/slaca-2017/papers/caracteristicas-funcionales-del-almidon-modificado-del-corno-de-la-yautia-xantho?lang=en>
- Alqah, H., Alamri, M., Mohamed, A., Hussain, S., Qasem, A., Ibraheem, M., & Ababtain, I. (2020). The Effect of Germinated Sorghum Extract on the Pasting Properties and Swelling Power of Different Annealed Starches. *Polymeres*, *12*(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym12071602>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, *19*(1), 19-29. <https://doi.org/https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art04.pdf>
- Anchundia, M. Á., Pérez, E., & Torres, F. (2019). Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente. *Revista Chilena de Nutrición*, *46*(2), 137-143. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182019000200137>
- Aracelly, P.-M. K. (2016). *Procesamiento de la zanahoria blanca Arracacia xanthorrhiza bancroft como alimento de segunda gama*. Universidad Técnica de Ambato.

<https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5649/2/03%20EIA%20387%20ARTICULO%20PERIODISTICO.pdf>

Aristizábal. (2017). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *FAO*, 33-39.

Babu, A. S., Parimalavalli, R., Jagannadham, K., & Sudhakara -Rao, J. (2015). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *J Food Sci Technol.*, 52(9), 5745–5753. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007%2Fs13197-014-1650-x>

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

Benelli, F. E., Gianna, V., & Calandri, E. (2019). Determinación de amilosa en almidones mediante el método amperométrico. *Revista Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 6 (1), 20-22. <https://doi.org/https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/16779>

Carrasquero-Durán, A., & Navas, P. (2015). determinación de amilosa en presencia de amilopectina en almidón de arroz aplicando la espectroscopía derivada. *Alimentos, Ciencia e Investigación*, 23(1), 11-20. [https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10998/1/Carrasquero-Dur%C3%A1n%20y%20Navas%20%282015%29\\_ACI-23%281%2911-20.pdf](https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10998/1/Carrasquero-Dur%C3%A1n%20y%20Navas%20%282015%29_ACI-23%281%2911-20.pdf)

Chen, M., Yi, Z., Ruixue, Y., Wenting, Z., Jian, S., Zhimin, M., . . . Yunfeng, L. (2022). Establishment of a quality evaluation system of sweet potato starch

- using multivariate statistics. *Nutrition and Food Science Technology*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1025061>
- Gerçekaslan, K. E. (2020). Hydration level significantly impacts the freezable - and unfreezable -water contents of native and modified starches. *Food Science and Technology*, *41*(2), 426-431.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.04520>
- Granados. (2014). Funcionales properties sago starch (Maranta arundinacea). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 61-64.
- Guzman-Condarco, B. (2018). *Extracción y modificación química de almidón de papa (solanum tuberosum) para su aplicación en la industria boliviana*. Universidad Mayor de San Andrés.  
<https://doi.org/http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18112>
- Indrianti, N., & Pranoto, Y. (2018). Physicochemical properties of modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Proceedings of the 4th international symposium on applied chemistry*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.5064339>
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 391-399.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia*

*Environmental Sciences*, 23, 164-167.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>

León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S., & Herrera- Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-626,.

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

Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>

Manzanillas-Rojas, L. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomoea batata) para aplicaciones alimentarias [Tesis pregrado]*. Universidad Técnica de Ambato.

<https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28375/1/AL%20680.pdf>

Martins-Fonseca, L., Mello, S. L., Guerra-Dias, A. R., & Da Rosa-Zavareze, E. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>

Montano-Aragón, A. (2013). *Modificación física del almidón de maíz a escala nanométrica para su uso en la Industria Alimentaria [Tesis de posgrado]*.

Universidad

Veracruzana

.<https://doi.org/https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46810/MontanoAragonAnabell.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Murillo-Martínez, M., Alvis-Bermúdez, A., & Arrazola-Paternina, G. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1).  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684>

Ocaña-Palacios, I. A. (2019). *Caracterización Fisicoquímica, Nutricional y Reológica De Cultivos Andinos Infrautilizados*. Universidad Técnica de Ambato.  
<https://doi.org/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30002/1/AL%20707.pdf>

Pacheco- De Delahaye, m., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame ( *dioscorea alata* ). *Interciencia*, 24(4).  
[https://doi.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000400012](https://doi.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400012)

Parra, M., Quintero-Munévar, P., & Hernández, A. (2015). Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Ciencia y Tecnología* , 5(2), 39–45. . [https://doi.org/http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/mandioca/b1\\_mandioca.pdf](https://doi.org/http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_mandioca.pdf).

- Peñaranda, O., Perilla, J., & Algecira, N. (2018). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Rev Ing e Inv*, 28(3), 47–52. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/iea/v23n3/v28n3a06.pdf>
- Pinzon, M. I., Sanchez, L. T., & Villa, C. C. (2020). Chemical, structural, and thermal characterization of starches from four yellow Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots produced in Colombia. *Haliyon*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04763>
- Rocha, T., Carneiro, A. P., & Landi-Franco, C. M. (2020). Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(2), 544-551. <https://doi.org/https://www.scielo.br/j/cta/a/xBRDfxHJy7pRkSkpS6ry8QF/?format=pdf#:~:text=The%20Peruvian%20cuarrot%20starch%20displayed,depending%20on%20the%20botanical%20source.>
- Salas-Cuesta, A. (2018). *Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza ) modificado por irradiación uv-c. [Tesis de posgrado. Universidad de Tolima.* <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/c95a7e1f-a41f-4031-a63f-597c92259f4b>
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2022). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *J Food Sci Technol*, 49(1), 22–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0310-7>
- Shubhendu, S., Divya, M., Alak-Kumar, B. S.-C., & Niranjana, C. (2015). Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two

- contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Food Chemistry*, 173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.172>
- Urbina-Dicao, K., Santacruz-Terán, S., Guapi-Álava, G., Revilla-Escobar, K., & Aldas-Morejón, J. . (2023). Caracterización fisicoquímica de granos de cereales y funcionalidad de harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 33-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.5708>
- Valcárcel, Y. B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2019). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3). <https://doi.org/https://www.scielo.br/j/bjps/a/Y7S58ndpf5TzqDQkMfGMb rf/?format=pdf&lang=en>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutricion*, 45(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, W., Hu, A., Li, J., Liu, G., Wang, M., & Zhen, J. (2022). Comparison of physicochemical properties and digestibility of sweet potato starch after two modifications of microwave alone and microwave-assisted L-malic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 614-621. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.215>

Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018).  
Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet  
potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, 168-176.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>

