



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

ENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C EN ALMIDÓN MODIFICADO DE
MALANGA (*XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM* (L) SCHOTT) COMO
AGENTE ENCAPSULANTE MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

CHACHA GALLEGOS CINDY KATHERINE
INGENIERA EN ALIMENTOS

CORDOVA MARQUEZ SANDRA ELIZABETH
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

ENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C EN ALMIDÓN
MODIFICADO DE MALANGA (XANTHOSOMA
SAGITTIFOLIUM (L) SCHOTT) COMO AGENTE
ENCAPSULANTE MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

CHACHA GALLEGOS CINDY KATHERINE
INGENIERA EN ALIMENTOS

CORDOVA MARQUEZ SANDRA ELIZABETH
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

ENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C EN ALMIDÓN MODIFICADO DE MALANGA
(XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM (L) SCHOTT) COMO AGENTE ENCAPSULANTE
MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

CHACHA GALLEGOS CINDY KATHERINE
INGENIERA EN ALIMENTOS

CORDOVA MARQUEZ SANDRA ELIZABETH
INGENIERA EN ALIMENTOS

AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO

MACHALA, 17 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
2020

Revisión de verosimilitud

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE
INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
2	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
4	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	ecuadorturisticoalisson.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
6	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1%
7	docslide.us Fuente de Internet	<1%
8	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	<1%

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

Las que suscriben, CHACHA GALLEGOS CINDY KATHERINE y CORDOVA MARQUEZ SANDRA ELIZABETH, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado ENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C EN ALMIDÓN MODIFICADO DE MALANGA (XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM (L) SCHOTT) COMO AGENTE ENCAPSULANTE MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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

Machala, 17 de diciembre de 2020



CHACHA GALLEGOS CINDY KATHERINE
0705555647



CORDOVA MARQUEZ SANDRA ELIZABETH
0106262348

DEDICATORIA

A ti que creíste en mí, a ti que me diste todo, a ti que lo dejaste todo por mí.

Mami, tus bendiciones a lo largo de mi vida han llegado a protegerme y llevarme por buen camino. Te dedico, con todo mi corazón, este trabajo porque no lo hubiera logrado sin ti.

Cindy

Dedico el presente trabajo a esa parte espiritual que, con los designios misteriosos que se nos presenta en la vida, nos guía por senderos menos inhóspitos. A mis padres por sus consejos, por su entrega, amor, paciencia y sacrificio. A mis pequeños hermanos que siguen senderos parecidos al mío. A mi querido esposo por su amor y apoyo incondicional. Finalmente, a todos los que contribuyeron en mi vida y en la culminación de este trabajo.

Sandra

AGRADECIMIENTO

Gracias, Dios, por todas tus bendiciones. Un eterno agradecimiento para mi familia y amigos que estuvieron a lo largo de mi vida universitaria, los cuales en un algún momento me ayudaron para poder avanzar. A mi mami Ana, a mis tías, a mis primas, en especial a Magaly y Jessica, a ti, Antonio por el apoyo incondicional, a mi mejor amiga Kelly, mi amiga Sandra, mis amigos que hice en la universidad, mis profesores y a La Universidad Técnica de Machala. Gracias por todo.

Cindy

Les extiendo un cordial agradecimiento a todos mis profesores a lo largo de mi vida estudiantil, gracias a sus enseñanzas catedráticas y enseñanzas de vida que hoy en día aún las sigo recordando, a mis padres, Rosa Márquez y Ramiro Córdova, a mis hermanos, Javier y Jefferson, a toda mi familia consanguínea y política, a mi amiga y compañera de aula Cindy Chacha, a todos mi amigos y colegas, al estimado ing. Fabian Cuenca Mayorga que con sus conocimientos transmitidos contribuyó en la orientación de una parte de esta investigación, al Dr. Orestes López Hernández por su predisposición en la realización de una parte experimental de esta investigación, a la Universidad Técnica de Machala y a la Universidad Técnica de Ambato por la apertura prestada para la realización y culminación de este trabajo. A todos ellos. Muchas gracias.

Sandra

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue encapsular vitamina C con uso del almidón modificado de la raíz de malanga de la variedad *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott como material de pared. En primera instancia, se obtuvo almidón (almidón nativo) a través del llamado método húmedo. Se sometió al almidón nativo al análisis proximal correspondiente en sus parámetros de rendimiento (%), humedad (% de agua), índice de solubilidad en agua (%), índice de absorción de agua (g gel/ g muestra), viscosidad (cP) y poder de hinchamiento (g gel/ g muestra). La modificación del almidón nativo, con el fin de que este posea las características necesarias para que sea utilizado como material de pared, se la realizó por vía enzimática a través de la acción de la amilasa en suspensión. La solución en agua destilada del almidón y la enzima fue incubada a un valor de temperatura de 60 ° C por un tiempo de 12 horas en un baño de agua con agitación constante a 180 revoluciones por minuto (rpm). A continuación, la suspensión fue filtrada, el remanente que contiene el almidón fue recolectado y posteriormente fue llevado a un proceso de secado en una estufa con recirculación de aire a 130 °C durante 30 minutos. El remanente seco (almidón modificado deshidratado) pasó luego por un proceso de molturación para después ser refinado a través de tamizado en un tamiz de 100 micras. Se determinaron los siguientes parámetros en el almidón modificado: humedad, índices tanto de solubilidad como de absorción en agua, poder de hinchamiento, rendimiento y viscosidad. El almidón modificado obtenido, listo para ser utilizado como material de pared en el proceso de encapsulado, el almidón fue disuelto en agua destilada para después poner una carga de vitamina C, hasta la completa disolución de los dos materiales, sobre una plancha de calentamiento (para facilitar la disolución de los componentes). Esta solución fue alimentada al secador por aspersion Büchi b-290, el cual, en función del material utilizado, fue calibrado a temperatura de entrada de 160 °C y temperatura de salida de 110 °C. El producto pulverulento resultante del proceso de *spray-dry* fue recogido en el colector de materiales adjunto al equipo; estos fueron llevados a una balanza analítica para su pesado. La efectividad del método de encapsulación utilizado fue corroborada por medio de un análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC por sus siglas en inglés) aplicado a muestras del producto obtenido del secado por aspersion; para efectos de este ensayo, se usó, como punto de comparación, el valor de temperatura de fusión para la vitamina C comercial en estado libre. Los termogramas arrojados por el ensayo de calorimetría diferencial de barrido dieron la pauta que tanto el método como el material de pared utilizado lograron encapsular al agente activo objeto del presente trabajo de investigación (vitamina C). El tratamiento M1 (5 % de almidón modificado)

tuvo como rendimiento de producto microencapsulado calculado un valor de 69,9 % y se constituyó como el mejor tratamiento, lo cual muestra evidencias de la viabilidad de uso del almidón modificado de malanga como agente encapsulante de agentes activos con fines de aplicación en formulaciones de alimentos.

Palabras clave:

Aspersión, vitamina C, malanga, microencapsulación, raíces

ABSTRACT

The aim of the present research work was to encapsulate vitamin C using enzymatically modified starch extracted from the taro root, species *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott as the porous microstructure encapsulating the active material. In the first instance, starch (in its native form) was obtained through the so-called wet method. The native starch was subjected to the corresponding proximal analysis in such parameters as yield (%), moisture (% water), solubility in water index (%), water absorption index (g gel / g sample), swelling capacity (g gel / g sample) and viscosity (cP). In order to provide the starch extracted from taro root the characteristics required to be used as a porous microstructure, taro native starch was modified through enzymatical processes with the help of an enzyme, i.e., amylase, in suspension. A solution using distilled water of the taro starch and the enzyme previously mentioned was incubated at a temperature value of 60 ° C for 12 hours in a water bath with constant agitation at 180 revolutions per minute (rpm). Then, the suspension was filtered and the remnant containing the now modified starch was collected. Modified taro starch was subsequently brought to a drying process in a laboratory stove featuring an air recirculation device and at a temperature value of 130 ° C for 30 minutes. The dried remnant (dehydrated modified starch) was then undertaken through a milling process to be later on refined through a sieving procedure using a 100-micron sieves set. Such parameters as yield, moisture, water solubility index, water absorption index, swelling power, and viscosity were determined in the modified taro starch. The modified taro starch obtained, ready to be used as porous microstructure in the encapsulation process, was dissolved in distilled water and then a load of vitamin C was charged over the previously mentioned solution until both components were fully diluted; this step was carried out over a heating plate (this to facilitate the components maximum solution). This solution was fed onto the spray drying equipment (mini spray dryer Büchi B-290), which, due to the type of material used, was calibrated at 160 ° C and 110 ° C as inlet and outlet temperature values, respectively. The powdery product resulting from the spray drying process was collected in the material collector device attached to the equipment; the obtained powdery product was taken to an analytical balance for weighing purposes. The effectiveness of the encapsulation method used was checked through a thermal analysis through differential scanning calorimetry DSC applied to samples of the product obtained from the spray drying processes; for the purposes of this test, the melting temperature value for commercial vitamin C in free state was used as a point of comparison. The thermograms produced by the differential scanning calorimetry test provided evidence that the method and the porous microstructure

used managed to encapsulate the active agent which was the object of the present research work (vitamin C). Treatment M1 (5% modified starch) had a calculated microencapsulated product yield of 69.9% and was identified as the best treatment, which shows evidence of the feasibility of using modified taro starch as an encapsulating agent of active agents for application in food formulations.

Keywords:

Spray, vitamin C, taro, microencapsulation, roots.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 GENERALIDADES	11
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2 JUSTIFICACIÓN	12
1.3 OBJETIVOS	15
1.4 HIPÓTESIS	16
CAPÍTULO II	17
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ORIGEN Y GENERALIDADES DE LA MALANGA	17
2.1.1 Taxonomía	18
2.1.2 Raíces de malanga	18
2.2 ALMIDÓN	19
2.2.1 Generalidades del almidón	19
2.2.2 Composición química y proximal en el almidón de Malanga	23
2.2.3 Características funcionales del almidón	25
2.3 ALMIDÓN MODIFICADO	26
2.3.1 Modificación física del almidón	26
2.3.2 Modificación química del almidón	27
2.3.3 Modificación enzimática del almidón	28
2.4 MICROENCAPSULACIÓN	28
2.4.1 Métodos de microencapsulación	29
CAPÍTULO III	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.2 MATERIA PRIMA	33
3.3 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE MALANGA	33
3.4 MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE MALANGA	34
3.4.1 Modificación enzimática del almidón	34
3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALMIDÓN NATIVO	34
3.5.1 Rendimiento	34
3.5.2 Determinación de Humedad – (Gravimetría)	35
3.5.3 Índice de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad del almidón .	35
3.5.4 Temperatura de gelatinización	36
3.5.5 Viscosidad	36

3.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALMIDÓN MODIFICADO	36
3.7 MICROENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C	37
3.7.1 Diseño completamente aleatorizado	37
3.7.2 Microencapsulación del ácido ascórbico	37
3.8 ANÁLISIS AL MICROENCAPSULADO	38
3.8.1 Rendimiento de la microencapsulación	38
3.8.2 Análisis térmico: Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN NATIVO	39
4.1.1 Rendimiento	39
4.1.3 Índice de absorción de agua	40
4.1.4 Capacidad de hinchamiento	41
4.1.5 Solubilidad del almidón	41
4.1.6 Temperatura de gelatinización	41
4.1.7 Viscosidad	42
4.2 RESULTADOS TRAS ANÁLISIS DEL ALMIDÓN MODIFICADO	42
4.2.1 Rendimiento	42
4.2.2 Humedad en almidón modificado de malanga	42
4.2.3 Capacidad de hinchamiento	43
4.2.4 Índice de absorción de agua	43
4.2.5 Solubilidad	44
4.2.6 Temperatura de gelatinización	44
4.2.7 Viscosidad	44
4.3 MICROENCAPSULACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO	45
4.4 CARACTERIZACIÓN DEL MICROENCAPSULADO	47
4.4.1 Análisis de humedad de las microesferas en función del tiempo.	47
4.4.2 Calorimetría diferencial de barrido	48
CAPÍTULO V	51
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química proximal de la raíz malanga.....	19
Tabla 2: Fuentes de almidón con las características de sus gránulos.....	21
Tabla 3: Composición química proximal en almidón de malanga	23
Tabla 4: Tratamientos para mezcla.....	37
Tabla 5: Propiedades físicas y mecánicas del almidón nativo y modificado de malanga	39
Tabla 6: Cantidad de microcápsulas obtenidas por tratamiento.....	45
Tabla 7: Diseño completamente aleatorizado.	46
Tabla 8: Humedad del microencapsulado.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Planta de malanga	18
Ilustración 2: Raíz de Malanga.....	18
Ilustración 3: Almidón de Malanga.....	21
Ilustración 4: Micrografías electrónicas de barrido de almidones separados de diferentes fuentes: (a) arroz, (b) trigo, (c) patata, (d) maíz.	22
Ilustración 5: Micrografía electrónica de barrido de los gránulos de almidón de Malanga.	22
Ilustración 6: Estructura química de la amilosa	24
Ilustración 7: Estructura helicoidal.	24
Ilustración 8: Estructura química de la amilopectina.....	25
Ilustración 9: Estructura general de una microencapsulación.	29
Ilustración 10: Esquemización del secado por aspersión.....	30
Ilustración 11: Intervalos de tratamientos analizados.	46
Ilustración 12: Termograma de ácido ascórbico puro	48
Ilustración 13: Termograma de almidón modificado	49
Ilustración 14: Termograma microencapsulado AM1.....	49
Ilustración 15: termograma mezcla física	50

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ingesta de antioxidantes es fundamental para mantener un buen estado de salud; estos cumplen un papel importante al reducir el estrés oxidativo, un problema que se agrava con la edad, por lo que su consumo a través de los alimentos los hace esenciales.

Los antioxidantes son compuestos sintetizados por las plantas (frutos, hojas, raíces, etc.), se caracterizan principalmente por tener grupos hidroxilos (OH) unidos entre sí por anillos bencénicos. La presencia de estos compuestos es primordial en los alimentos, no solo porque activan propiedades organolépticas naturales que ayudan a preservarlos, sino porque al ser ingeridos protegen de manera amplia la salud del consumidor y previenen enfermedades graves, por ejemplo, el cáncer (Palma Gámiz, 2018).

Los antioxidantes han ganado terreno en la industria alimentaria, principalmente en lo que se refiere a conservación de alimentos; estos evitan su deterioro provocado por la oxidación, reducen la pérdida de valor nutritivo y contenido energético, ayudan a la frescura al asegurar sabores, olores, pigmentos, etc. Por otro lado, su consumo está asociado con beneficios para la salud ya que su consumo está relacionado con la reducción del cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurológicas; también brindan, entre otros beneficios, efectos antiinflamatorios, antibacterianos, antialérgicos, antihipertensivos, antivirales y de curación de heridas cutáneas (Ozkan et al., 2019).

Uno de estos antioxidantes más comunes es el ácido ascórbico, también conocido como vitamina C. Este antioxidante es utilizado en la industria alimentaria de dos maneras: como antioxidante propiamente dicho y como suplemento vitamínico (Desai & Park, 2004). Sin embargo, las actividades antioxidantes relevantes de las sustancias bioactivas del ácido ascórbico pueden verse obstaculizadas por su degradación provocada por la luz, el oxígeno, la temperatura, la humedad y la existencia de enlaces insaturados en las estructuras moleculares (Ballesteros et al., 2017), debido a que la vitamina C es sensible a los cambios tanto físicos y químicos, lo que acelera su degradación. Por lo tanto, es preponderante

buscar medios de preservación de su integridad con el fin de mantener su funcionalidad y eficiencia una vez agregada a los alimentos (Leyva-López et al., 2019).

En la actualidad, con el fin de reducir su susceptibilidad, se han reproducido varias estrategias, por ejemplo, la encapsulación. Esta estrategia tiene como prioridad extender la capacidad para resistir condiciones de proceso (como el tratamiento térmico y el cizallamiento) en la vitamina C, por ende, se prolongará su estabilidad de almacenamiento (Ye et al., 2018). Sin embargo, la poca información de la aplicabilidad de esta técnica hace que sea poco utilizada en nuestro medio local.

De manera general, la encapsulación es la técnica mediante la cual los ingredientes sensibles se empaquetan dentro de un revestimiento o material de pared (Loksuwan, 2007). Algunos ejemplos de materiales de pared son: ceras, lípidos, proteínas, polímeros y carbohidratos como el almidón (Bretón & Munguía, 2008). Para ser utilizado como material de pared, el almidón debe, en algunas ocasiones, ser modificado con el fin de aumentar sus propiedades como agente encapsulante. Este almidón puede ser extraído de varias fuentes, por ejemplo, cereales como el maíz, trigo, arroz, entre otros. Otra fuente potencial de almidón pueden ser los tubérculos y raíces, por ejemplo, la papa, la yuca, la malanga, etc.; en algunos casos incluso pueden ser utilizadas ciertas frutas ricas en almidón, por ejemplo, el plátano y semillas, por ejemplo, los frijoles, guisantes, lentejas, entre otros. El almidón es utilizado para los fines mencionados por poseer propiedades de adhesión, gelatinización, retrogradación, transición vítrea y de interacción con otros componentes. Gracias a estas propiedades, el almidón y derivados de este son utilizados ampliamente en la industria, sobre todo en la industria de los alimentos. En esta industria es utilizado generalmente para facilitar el incremento de volumen, de cuerpo y para corregir la textura de ciertas sustancias alimenticias; los almidones proveen propiedades de adhesión, espesantes, gelificantes y formadoras de película (Argel Ulbrich, 2013). Por lo antes mencionado, con el fin de delimitar la presente investigación, se utilizó almidón nativo de malanga del género y especie *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott que, posteriormente, se procedió a modificar para ser utilizado como material de pared en la encapsulación de vitamina C.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las diferentes especies botánicas que se tienen en el medio local hace que haya variedad de materias para su potencial uso y transformación. Ejemplo de estas son las raíces y tubérculos que han sido utilizados tradicionalmente en la ingesta diaria. Sin embargo, algunos de estos se están dejando de consumir o están siendo sustituidos por otros alimentos de producción extranjera siendo el uso del trigo el caso más relevante. Por consiguiente, con esta investigación se busca obtener un producto pulverulento a base de la raíz conocida como malanga para su utilización en sustituciones parciales de productos ya existentes o generar nuevas alternativas de utilización y consumo.

Tras el tratamiento de las raíces de malanga se obtiene, como uno de sus productos almidón nativo, caracterizado por tener propiedades tecnológicas destacables como la retención de agua y la retrogradación. La capacidad de retención de agua es una propiedad por considerar al momento de la aplicación de estos en la industria alimentaria, principalmente con el fin de reducir costos de manufactura, pero, a su vez, la retrogradación, o sea la baja solubilidad y la presencia de una precipitación deliberada cuando son afectadas las cadenas de amilosa, ha derivado en que se usen almidones modificados en productos, sobre todo donde el consumidor final es más exigente y resulta en incrementos en los costos de fabricación por ser los almidones modificados más costosos que los almidones nativos. Los almidones modificados son desarrollados para ser aplicados en condiciones más exigentes de temperatura, acidez, fuerza de cizalla, etc. Además, muchas empresas productoras de estos tipos de almidones desarrollan modificaciones que se ajustan al requerimiento final (Delgado Rimas, 2018). Después de esta modificación se dan las condiciones necesarias para procurar la microencapsulación de material activo. La microencapsulación es una técnica eficaz de protección para encapsular vitaminas, enzimas, aceites, microorganismos, entre otros, frente a sus respectivas condiciones de inestabilidad en cuanto a factores de tiempo, temperatura, humedad y oxidación. Las microcápsulas pueden ser utilizadas como una forma de almacenamiento y protección de dichos agentes activos para ser aplicados en diferentes campos, procesos o diferentes matrices alimentarias. Al utilizar las microcápsulas ricas en ácido ascórbico se contribuiría a corregir deficiencias nutritivas, prevenir enfermedades determinadas y, sobre todo, mantener la calidad nutritiva de los productos industrializados (Bretón & Munguía, 2008). Como ejemplos de materiales utilizados para propiciar la encapsulación destacan los lípidos, proteínas y carbohidratos como polímeros de grado alimenticio como algunos tipos de almidón.

A través de esta investigación se busca encapsular vitamina C con almidón modificado de malanga como material encapsulante (“material de pared”) mediante el método de secado por aspersion para lograr la estabilidad y funciones del agente activo y, a su vez, obtener un encapsulado homogéneo y de alta calidad.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Encapsular vitamina C con uso del almidón modificado de malanga como agente encapsulante mediante técnica de secado por aspersión para preservar sus características funcionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar las propiedades físicas y mecánicas del almidón de malanga nativo y modificado.
- Determinar diferencias significativas en la capacidad de encapsulación del almidón modificado a diferentes concentraciones.
- Corroborar la efectividad de la técnica de encapsulación utilizada.

1.4 HIPÓTESIS

H. nula:

El almidón modificado de malanga no es un material de pared adecuado para la encapsulación de vitamina C

H. alternativa:

El almidón modificado de malanga es un material de pared adecuado para la encapsulación de vitamina C

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN Y GENERALIDADES DE LA MALANGA

El origen de la malanga se localiza en las zonas tropicales de Asia, probablemente en las inmediaciones del subcontinente indio en el país de Myanmar; comprende 6 especies y se calculan más de 1000 variedades sin reportar. Se la emplea como producto alimenticio básico en lugares del mundo en África, Asia, Oceanía y América del Sur. El cultivo de la malanga se fue dispersando al suroeste asiático, las islas del océano Pacífico y África donde se introdujo en el siglo XIX. Las plantas de malanga se desarrollan bien en altitudes bajas o medianas (950 msnm) con una humedad relativa alta. Los suelos húmedos son adecuados para estos cultivos y crecen mejor con una precipitación pluvial de 1800-2500 mm. Las plantas están bien distribuidas en América tropical y en los trópicos húmedos en general (Rosales & Zeledón Flores, 2008). Este tubérculo se encuentra ubicado en el puesto 6 en las áreas de producción y plantación mundial después de la yuca, la papa, la batata (*Ipomoea batatas*), el ñame (*Dioscorea esculenta*) y el taro (*Colocasia esculenta*) (Morales & Santacruz, 2017). En Ecuador se reportó el descubrimiento del cultivo del tubérculo de la malanga hace cerca de 5 lustros, específicamente en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Almeida Andrade et al., 2009). El Ministerio de Agricultura y Ganadería ha reconocido a la malanga como producto potencialmente exportable, por lo que este tubérculo es cultivado y posteriormente exportado a ciertos países extranjeros donde es utilizada para la elaboración de productos derivados como ciertos tipos de tentempiés. Los lugares del país en donde se produce el tubérculo de la malanga son localidades de las provincias de Esmeraldas, Los Ríos (Quevedo), Manabí (Chone) y Santo Domingo de los Tsáchilas (Puerto Limón, La Unión, Nuevo Israel, El Esfuerzo, Luz de América, Puerto Quito, La Concordia) (Romero Morán, 2018).

Ilustración 1: Planta de malanga



Fuente: (Romero Morán, 2018)

2.1.1 Taxonomía

El género y la especie de la malanga puede denotarse en su nombre científico, *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott. Esta especie vegetal pertenece al reino Viridiplantae, clase Angiosperma, familia Aràceae. El nombre “malanga” es común en nuestro país, así como en Cuba, España, Colombia y Puerto Rico; se la conoce como “macal” en México, “otóe” en Panamá, “ocumo” en Venezuela y “tiquizque” en Costa Rica.

2.1.2 Raíces de malanga

Las raíces de malanga poseen contenidos superiores de proteína y compuestos fenólicos si se la compara con la papa, por lo que se puede considerar como una potencial materia prima debido al aporte de antioxidantes fenólicos a la ingesta diaria (Morales & Santacruz, 2017).

Ilustración 2: Raíz de Malanga.



Fuente: Las Autoras

La malanga es considerada como un alimento de interés tecnológico y nutritivo porque contiene un alto contenido de sustancias nutritivas como son los carbohidratos y proteínas que se necesita para tener una alimentación sana y balanceada (Romero Morán, 2018).

Tabla 1: Composición química proximal de la raíz malanga

Componentes	Concentración (%)
Humedad	65,9
Proteína	4,4
Almidón	27,6
Azúcar	0,14
Fibra	2,78
Grasa	0,2
Carbohidratos	25,02

Fuente: (Romero Morán, 2018)

2.2 ALMIDÓN

2.2.1 Generalidades del almidón

El almidón se define como un carbohidrato producido por todas las especies vegetales verdes, las que lo utiliza a manera de reserva energética; es uno de los alimentos (en estado puro y en combinación) más comunes de la alimentación humana. El almidón está contenido en alimentos básicos como las papas, el arroz, el sorgo, el trigo, el maíz y la mandioca. Cuando se lo utiliza extraído de la planta únicamente por medios físicos se denomina “almidón nativo”; si atraviesa una o más modificaciones para alcanzar propiedades específicas se denomina “almidón modificado”. El almidón en estado puro se caracteriza por ser un material

pulverulento blanco, sin sabor y con olor característico que es insoluble en alcohol y agua fría. El almidón está compuesto por glucosa, además de lípidos, proteínas, agua y iones minerales. El almidón ha pasado de su función tradicional como alimento a ser un elemento indispensable para la industria; el amplio uso del almidón en la industria de los alimentos se basa en sus características adhesivas, espesantes, gelificantes, capacidad de hidratación y para formar películas, así como en su disponibilidad inmediata, bajo costo y calidad controlada (Ahmed & Khan, 2013).

El almidón de tubérculos es una alternativa a los obtenidos de cereales comúnmente encontrados en el mercado. Su valor en la alimentación humana es significativo debido a su aporte a la prevención de la desnutrición y el hambre. En la industria son utilizados como espesantes o aglutinantes en formulaciones, por ejemplo, en la elaboración de salsas, compotas (en función de la legislación de cada país), entre otros (Ortiz et al., 2015).

Cuando se trata de alternativas para la sustitución de ingredientes, y debido a su aporte a la alimentación y a su significativo rendimiento, se plantea el uso del almidón obtenido de la malanga por ser una materia prima de escasa utilización industrial y poco conocida por las familias ecuatorianas, lo que lo convierte en un recurso altamente disponible (Quezada & Martínez, 2019). El material obtenido posterior al tratamiento de las raíces de malanga es un polisacárido constituido por unidades moleculares de glucosa y tiene una morfología microscópica de gránulos blanquecinos finos tal y como se puede observar en la ilustración 3; de manera general, presentan una forma regular, oval, y presentan dimensiones en el rango entre 2 y 100 micras. En general, tanto la cantidad de amilopectina, la morfología como las dimensiones de los gránulos propios de cada especie de la que proviene, ya sea de un cereal o de otras especies vegetales; estas características pueden ser utilizadas para identificar su origen (Surco Laos, 2004), como se puede observar en la tabla 2 e ilustraciones 4 y 5. La variación de la forma y los compuestos químicos de los gránulos de almidón pueden verse afectados a nivel funcional, así como los cambios enzimáticos. Con la ayuda de las técnicas de micrografía electrónica de barrido (*scanning electron microscopy* - SEM) utilizadas en la investigación de Singh et al., (2002) se ha podido identificar las propiedades de la estructura de naturaleza cristalina presente en los gránulos de almidón. Los almidones extraídos de las gramíneas, i.e., cereales, exhiben el patrón de rayos X típico de tipo A, mientras que los almidones de tubérculos muestran la forma B y las legumbres el patrón de estado mixto C que se pueden apreciar en la ilustración 4

Ilustración 3: Almidón de Malanga



Fuente: Las Autoras

Tabla 2: Fuentes de almidón con las características de sus gránulos.

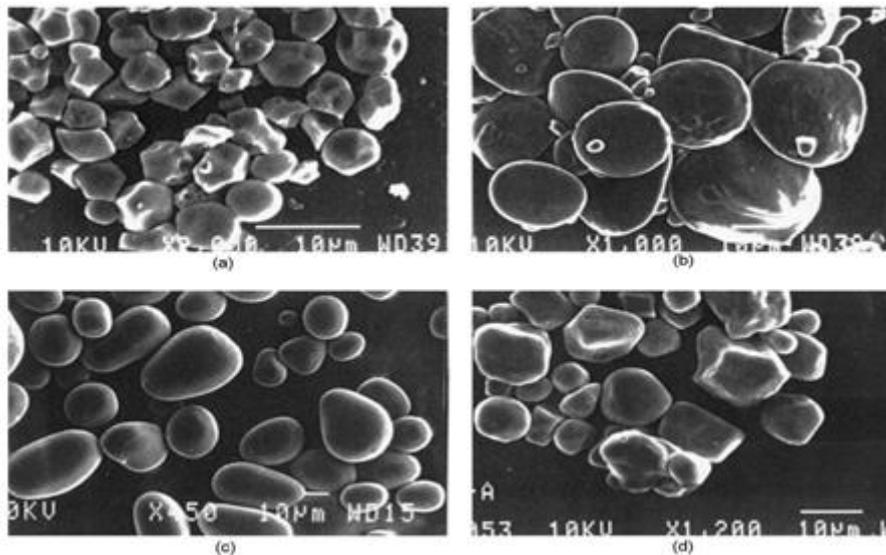
Fuente de almidón	Tamaño en μm	Forma	Amilopectina
Maíz	20	Poligonal	75
Arroz	7	Redonda, poligonal	83
Cebada	23	Redonda, elíptica	78
Trigo	25	Ovalada, truncada	73
Plátano	10 – 40	Elíptica	70 – 75
Papa	35	Ovalada	80
Taro	11.95	Poligonal irregular	79,4

Fuente: (Bello et al., 1988; Agustiniano Osorno, 2004)

En la **ilustración 4** se muestra gránulos de almidón de malanga que presenta formas elípticas y poligonales irregulares de diámetro 11,95 μm y con 79,4 % de amilopectina, según reportado por Alvira-Manios et al., (2015). Para este estudio, se extrajo almidón mediante el método húmedo y con uso de una centrífuga para facilitar la decantación; a través de esto, se logró

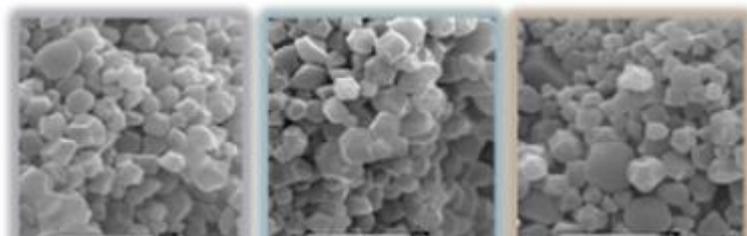
determinar un bajo poder de hinchamiento (13,69 g agua/g muestra a 90 °C), una solubilidad de 7,92 %, una temperatura de gelatinización alcanzada 77 °C y viscosidad de 148,6 RVU. La asociación estructural de tamaño, composición y forma reflejan los diferentes orígenes de los almidones, variedades y métodos de extracción del almidón (Alvira-Manios et al., 2015).

Ilustración 4: Micrografías electrónicas de barrido de almidones separados de diferentes fuentes: (a) arroz, (b) trigo, (c) patata, (d) maíz



Fuente (a): (Singh et al., 2002)

Ilustración 5: Micrografía electrónica de barrido de los gránulos de almidón de Malanga.



Fuente: (Alvira-Manios et al., 2015)

2.2.2 Composición química y proximal en el almidón de Malanga.

Tabla 3: Composición química proximal en almidón de malanga.

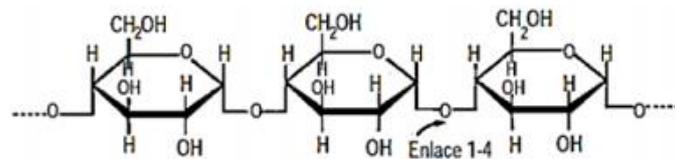
Componentes	Valores
Humedad (%)	6,60
Grasa (%)	0,14
Proteína (%)	0,4
Cenizas (%)	0,16
Amilosa (%)	20,6
Amilopectina (%)	79,4
pH	7.11
Contenido de almidón (%)	69,95
Almidón resistente	14,1
Tamaño del gránulo (µm)	11,95
Poder de hinchamiento (g agua/g muestra 90 °C)	13,69
Solubilidad	7,92
Temperatura de gelatinización (° C)	77
Viscosidad (RVU)	148,6

Fuente: (Alvira-Manios et al., 2015)

Por dos polisacáridos está constituido el almidón siendo la amilosa y la amilopectina, en menor cantidad se encuentran las proteínas, lípidos y minerales. La proporción en la que se hallan los polisacáridos mencionados es precedida por la genética de la fuente utilizada, lo cual influye en sus propiedades funcionales (Badui Dergal, 2006).

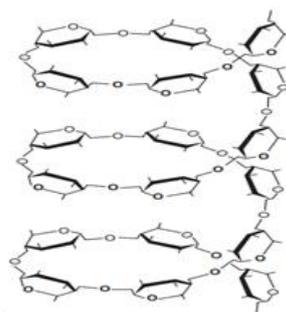
La amilosa tiene 2 tipos de enlaces en su estructura, estos unen a unidades moleculares de glucosa. Los enlaces α -D-(1,4)-glucana están constituidos por hasta 2500 unidades repetitivas de α -maltosa. En la ilustración 5 se pueden apreciar dichas cadenas lineales, ordenadas de manera paralela mediante puentes de hidrógeno, estas cadenas representan un 99 % de esta, mientras que los enlaces α (1,6) representan un 1 % (Ríos Ríos, 2014). Este polisacárido en solución a temperatura ambiente puede adquirir una conformación tridimensional helicoidal que se manifiesta con un color propio azul intenso al reaccionar una molécula de yodo (I_2) con 7 u 8 glucosas ya que cadenas muy cortas producirán una coloración roja, en donde cada giro constituye de seis moléculas de glucosa representada por Badui-Dergal (2006) en la ilustración 6. Mientras más cantidad de amilosa esté presente en el almidón, disminuye la apreciación irregular de la forma del gránulo y la hace menos susceptible a una hidrólisis o degradación del tipo ácida o enzimática.

Ilustración 6: Estructura química de la amilosa



Fuente: (Ríos Ríos, 2014)

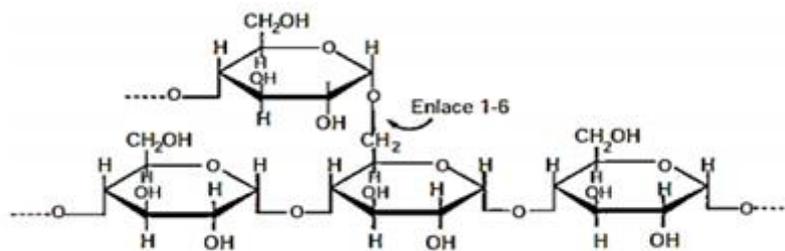
Ilustración 7: estructura helicoidal.



Fuente: (Badui-Dergal, 2006)

Mientras que la amilopectina genera una coloración roja al reaccionar con una cantidad muy pobre de yodo (I_2), esta presenta a nivel molecular bifurcaciones y da una forma parecida a un árbol; consta de un núcleo o parte central a la que van unidas con enlaces α -D-(1,6) ubicadas cada 15 a 25 unidades de glucosa como se puede mostrar en la ilustración 6. Las cadenas formadas pueden contar con hasta 20 000 unidades, es decir, son característicamente más significativas en comparación con las de amilosa (Badui Dergal, 2006). Al tener mayor cantidad de amilopectina, evitará que se presente el fenómeno de retrogradación o sinéresis en pastas según Alvira-Manios et al. (2015).

Ilustración 8: Estructura química de la amilopectina.



Fuente: (Ríos Ríos, 2014)

2.2.3 Características funcionales del almidón

De manera general, dichas características dependen exclusivamente de la relación amilosa/amilopectina dentro del almidón. En las distintas siembras de farináceos, esta relación es invariable, pero existen casos que incluso entre plantas de la misma especie se encuentra variación en sus características; sin embargo, estas diferencias pueden ser apreciables para ciertos estudios. Los polisacáridos más representativos encontrados (amilosa y amilopectina) influyen de manera determinante en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los alimentos, principalmente por su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui Dergal, 2006).

2.3 ALMIDÓN MODIFICADO

Los almidones nativos son, por lo general, inadecuados para la mayoría de las aplicaciones y, por tanto, deben ser modificados para mejorar sus atributos positivos o minimizar sus defectos. En la actualidad, la industria de los almidones busca la obtención de estos de manera tal que cumplan con las necesidades requeridas por el consumidor y que satisfagan las necesidades de otros sectores de la industria alimentaria (en donde se lo utiliza, principalmente, como componente en formulaciones alimenticias). Independiente de la fuente botánica, la forma nativa del almidón está adaptada para tolerar condiciones de procesamiento excesivas debido a propiedades físicas y químicas deficientes como baja claridad de la pasta, falta de consistencia, insolubilidad, exceso de viscosidad, alta retrogradación, etc. Por lo tanto, la forma nativa podría no tener las propiedades funcionales apropiadas requeridas para ser parte de los productos alimenticios con requisitos de calidad más exigentes. La transformación de la forma nativa de los almidones se hace únicamente para promover sus aplicaciones y así beneficiarse con las ventajas asociadas a través de medios de modificación. Además, también se llevan a cabo modificaciones para producir biomoléculas a medida con estructuras granulares estabilizadas y así tener una mejor opción en aplicaciones alimentarias (Singla et al., 2020).

El almidón en su estado nativo puede ser poco eficiente en las diferentes condiciones procesos (pH, temperatura, presión), esto reduce su utilización en la industria debido a su poca tolerancia a los cambios bruscos de temperatura, detrimento de la funcionalidad mecánica por la exposición a la humedad, sinéresis y alto grado de retrogradación (Bello-Pérez et al., 2002). Las limitaciones citadas anteriormente hacen que sea necesaria la modificación del almidón por medio de procesos químicos, físicos o enzimáticos. Al modificar su estructura nativa, las propiedades fisicoquímicas y funcionales mejorarán en función del proceso donde se lo vaya a emplear.

2.3.1 Modificación física del almidón

Según Nawaz Et al., (2016), las modificaciones físicas implican cambios en la morfología y estructura tridimensional del almidón bajo la influencia de algunos factores físicos como molienda, humedad, temperatura, presión, pH, radiación, campo eléctrico de pulso, ondas ultrasónicas, etc. Las modificaciones físicas dan como resultado la variación. en tamaño de partícula, propiedades superficiales, índice de solubilidad y propiedades funcionales tales como poder de hinchamiento, índice de absorción de agua, capacidad de adhesión y gelificación del

almidón. Estas modificaciones influyen directamente en la calidad funcional y la selectividad e idoneidad del almidón modificado para diversas formulaciones nutricionales, farmacéuticas e industriales. Se han publicado varios estudios sobre la modificación física del almidón a través de diferentes técnicas. Los métodos de modificación física comúnmente utilizados incluyen sobrecalentamiento del almidón, tratamiento de inhibición térmica, radiación UV, radiación gamma, tratamiento con microondas, presión aumentada, presión osmótica, tratamiento instantáneo de presión controlada, activación mecánica por agitación del molino de bolas, tratamiento por campo eléctrico pulsado, micronización en molino de bolas al vacío, tratamiento de recocado, tratamiento de congelación-descongelación (Nawaz et al., 2018; Lawal, 2018).

2.3.2 Modificación química del almidón

La modificación química implica la alteración de las propiedades fisicoquímicas del almidón mediante la introducción de nuevos grupos químicos o funcionales en el almidón sin ninguna alteración física en la forma y tamaño de la molécula. Cada unidad de glucosa en la amilosa y la amilopectina tiene tres grupos hidroxilo reactivos que son los sitios principales para la modificación química en el almidón. La modificación química altera el comportamiento físico del almidón, incluida la retrogradación, la salazón y la gelatinización que dan estabilidad a la unión intermolecular e intramolecular de los gránulos de almidón. Los métodos comúnmente usados de modificación química del almidón incluyen oxidación por diferentes agentes oxidantes, esterificación por adición de algunos restos hidroxietilo, hidroxipropilo o carboximetilo en grupos hidroxilo del almidón, esterificación por condensación de algunos ácidos grasos, otros ácidos carboxílicos y fosfatos con grupos hidroxilo activos. de almidón, cationización mediante la introducción de algunas moléculas catiónicas, reticulación mediante la adición de varios reticulantes y polimerización por injerto de almidón con polímeros sintéticos (Páramo-Calderón et al., 2015; Zanella Pinto et al., 2019). Las modificaciones catiónicas implican la reacción de moléculas de almidón que contienen grupos de amonio terciario y secundario, imino, amino, sulfúrico y fosfato que reaccionan con grupos hidroxilo del almidón.

2.3.3 Modificación enzimática del almidón

Como plantea Van der Maarel et al., (2005), la modificación enzimática del almidón a escala industrial se basa principalmente en el uso de enzimas hidrolizantes del almidón como la α -amilasa, la pululanasa y la glucoamilasa (Van der Maarel et al., 2002). Después de calentar el almidón para disolverlo en agua, se hidroliza con ácido o enzimas a maltodextrinas, maltosa y glucosa. Estas enzimas hidrolizan los enlaces α -1,4- o α -1,6-glicosídicos en amilosa y amilopectina y rompen primero el enlace glicosídico y posteriormente usan una molécula de agua como sustrato aceptor. Un segundo grupo de enzimas activas sobre el almidón, relativamente poco explorado, son las que modifican el almidón mediante una reacción de transferasa. Estas enzimas también rompen inicialmente el enlace glicosídico, pero en lugar de agua utilizan otro oligosacárido como sustrato aceptor y forman un nuevo enlace glicosídico. Este nuevo enlace puede ser intramolecular, una reacción catalizada por la enzima ciclodextrina glicosiltransferasa, o intermolecular, p. catalizado por amilomaltasa o enzima ramificadora de glucano.

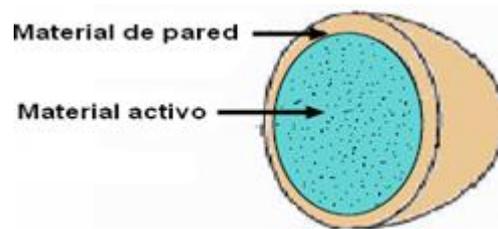
2.4 MICROENCAPSULACIÓN

La microencapsulación es un proceso orientado a proteger sustancias susceptibles de descomposición o reducción de su funcionalidad debido a diferentes reacciones de degradación (es decir, oxidación, hidrólisis, etc.), la microencapsulación involucra la elaboración de una capa alrededor de un material en estado líquido, gaseoso o sólido. El revestimiento se suele llamar capa, pared, membrana o soporte y el material atrapado se denomina agente activo, centro activo, material activo o fase interna (Hoyos-Leyva et al., 2018).

En el último tiempo se ha visto el aumento del interés por desarrollar e innovar técnicas de microencapsulación, con la finalidad de proteger la estabilidad del centro activo, como pueden ser el caso de sabores, vitaminas o aceites esenciales, durante el almacenamiento y condiciones extremas de procesamiento; se emplea una capa externa, pared, membrana o cubierta elaborada a base de almidones (nativos o modificados), lípidos, carbohidratos o gomas, mezclas de estos con algunos azúcares como la maltodextrina, proteínas alimenticias, vitaminas solubles en lípidos, quitosano, entre otros componentes que puedan presentar una microestructura porosa. Debido a que el tamaño del grano de las cápsulas debe situarse entre 0,2- 5000 μm , su función

principal es proteger el centro activo, mantener en control su disponibilidad, optimizar las condiciones de provisión o manejo, la estructura de una microcápsula de manera general se puede esquematizar como lo indica en la figura 7 (Vega Cuevas, 2007; Murúa-Pagola et al., 2009). La liberación del centro activo encapsulado puede efectuarse mediante varios factores, por ejemplo, disolución en un ambiente acuoso, gradiente de temperatura, corte de cizalla, acción de agentes tanto químicos como enzimáticas, modificación de la presión osmótica, entre otros (Martínez-Ortiz, 2007).

Ilustración 9: Estructura general de una microencapsulación.



Fuente: (Lozano Berna, 2009)

2.4.1 Métodos de microencapsulación

Desde el punto de vista de Saavedra Baca y Távara Guerrero (2014), puede haber en literatura especializada más de 200 textos que expliquen la formación de las microcápsulas; los métodos en usanza pueden ser clasificados en tres grupos de acuerdo con su principio de acción: a saber, los procesos físicos, donde destacan los métodos de extrusión, recubrimiento y deshidratación por aspersión; procesos fisicoquímicos, que incluyen la captación en liposomas y la coacervación tanto simple como compleja; por último, están los procesos los químicos, donde destacan la inclusión molecular y la polimerización interfacial.

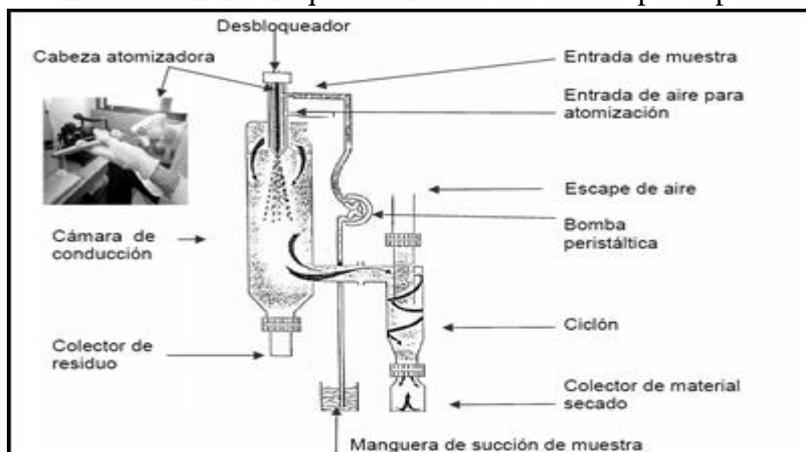
La elección del método por utilizar dependerá del tamaño de partícula deseado, el costo-disponibilidad de materiales y reactivos, las propiedades fisicoquímicas finales e iniciales del material de pared y del centro activo, mecanismo por el cual va a ser efectuado su liberación, etc. (Ré, 2007).

2.4.1.1 Secado por aspersión

Esta metodología de secado se utiliza frecuentemente en aplicaciones industriales debido al bajo costo del método, eficiencia en el resguardo de materiales activos y a la poca complejidad de liberación del agente activo. Entre las ventajas que presenta este método destacan la precisión, simplicidad y que se trata de un proceso amigable para materiales termosensibles; la razón para que se presenten estas ventajas subyace a que la exposición de los agentes a temperaturas altas se da en un tiempo relativamente corto (no mayor a 30 s) (Castañeda et al., 2011; Yáñez Fernández et al., 2002).

La etapa de secado consiste en tornar una sustancia líquida, en solución o emulsión, en finas gotas de líquido por influencia de un flujo de aire sometido a temperaturas altas. Cuando las fracciones del líquido reducidas en tamaño toman contacto con el aire caliente, el disolvente se evapora rápidamente y se forma una película fina de partículas pulverulentas del material según Martínez-Ortiz, (2007) y Castañeda et al., (2011), como se puede esquematizar de manera general un proceso de secado mediante aspersión en la ilustración 10. El proceso de secado es continuo en el dispositivo *spray dry*, dispone de varias etapas como la atomización, difusión del atomizado en el aire, evaporación y separación del producto. Dentro de los componentes estructurales de un secador se tiene una entrada de alimentación del líquido (canal de alimentación), una boquilla de atomización (conector de atomización), una cámara producto seco, las partículas encapsuladas presentan un tamaño de partícula de entre 10 a donde se da la deshidratación propiamente dicha y un recipiente donde se recolecta el producto encapsulado (Porzio, 2004; Castañeda et al., 2011).

Ilustración 10: Esquematización del secado por aspersión.



Fuente: (Martinez-Ortiz, 2007)

El proceso de microencapsulación se ciñe, esencialmente, al procedimiento que precede: se disuelve el material de recubrimiento en un disolvente acorde con el proceso y el principio (en estado sólido o líquido; material activo) por encapsular es esparcido en la disolución del paso previo. La dispersión obtenida ingresa al espacio de secado en la que hay un flujo en contracorriente de aire caliente, que es el elemento que provee el calor de evaporación necesario. Una vez evaporado el disolvente, el material destinado a ser el de recubrimiento capta y envuelve el principio activo (Lozano Berna, 2009); a continuación, se forma una película en la capa superficial de las gotas, esta se encarga de retardar la difusión de la unidad molecular que se encuentra en la fase interna, mientras se produce una difusión de las moléculas de agua que migran a la superficie, dando conclusión al proceso de microencapsulado (Porzio, 2004). Las propiedades fisicoquímicas resultantes de este proceso en el producto pulverulento dependen de las variables involucradas, así como en las características inherentes del líquido ingresado (tamaño de partícula, velocidad de flujo, viscosidad), del tipo de atomizador usado y del aire caliente de secado (presión, magnitud de temperatura). Entonces, es preponderante la optimización del proceso para dar lugar a tener un producto con las características más apropiadas (Tonon et al., 2008).

2.4.1.2 Ventajas del secado por aspersión

Coronel Delgado (2015) y la empresa médica *Pharmapproach* (2020) declaran las siguientes ventajas generales:

- La calidad y las propiedades del producto se pueden controlar y mantener eficazmente durante toda la operación de secado.
- Los productos termolábiles se pueden secar con valores de presión atmosférica y a temperaturas relativamente altas.
- El secador por pulverización da paso a una producción de alto tonelaje en funcionamiento continuo adaptable al control PLC convencional (controlador lógico programable) y es relativamente sencillo de operar.
- La materia prima en solución, lechada, emulsión, pasta y forma fundida se puede secar si se puede bombear.

- El problema de corrosión es mínimo y la selección de materiales de construcción del secador por pulverización se simplifica ya que el material obtenido tiene una humedad muy baja
- El secador por pulverización produce partículas de polvo seco de tamaño, forma, contenido de humedad y otras propiedades específicas controlables, independientemente de la capacidad y temperaturas.
- El secador por atomización maneja una amplia gama de tasas de producción y proporciona una gran flexibilidad en su diseño, que las especificaciones del producto se cumplen fácilmente mediante la selección del diseño de secador por atomización apropiado y su operación entre una amplia gama de diseños disponibles.

2.4.1.3 Materiales encapsulantes

Para uso en la microencapsulación por medio del secado por atomización, en concreto, la selección del material de pared es importante porque este influye en las propiedades de emulsión antes del secado, la conservación de los compuestos volátiles y la duración después del secado después del secado (Argel Ulbrich, 2013)

Por tal motivo, elegir un encapsulante, según señala Tapia Poveda (2017), va directamente relacionado con las características físicas y químicas, transición vítrea, peso molecular, cristalinidad y propiedades emulsionantes. Además del propósito final de los microencapsulados.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación aquí descrito fue llevado a cabo en las instalaciones de los laboratorios de investigación, áreas alimentos y desarrollo de nuevos productos, de la Facultad de Ciencia Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro, Ecuador y en las instalaciones de los laboratorios de la FCIAB de la Universidad Técnica de Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador.

3.2 MATERIA PRIMA

Para el presente estudio se utilizó como materia prima unidades de malanga cultivada en el cantón Santo Domingo de los Tsáchilas, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas localizado, según sus coordenadas en 0°15'15"S 79°10'19"O, su superficie es 152,25 Km². Limita en la orilla izquierda del río Toachi, al centro-norte de la región litoral del Ecuador, en los costados externos de la cordillera occidental de los Andes, a una altitud de 635 msnm y con un clima lluvioso tropical, por lo general de 23 °C.

3.3 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE MALANGA

La materia prima pesada, pelada y cortada se lavó en una solución de ácido ascórbico a 5 %. Luego, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático de la raíz, se sumergió durante 30 minutos en una disolución de ácido ascórbico al 5 %, mezcla que fue utilizada en la fluidificación de la raíz llevada a cabo en un triturador LAR - 15/25 (Metalúrgica Skymssen Ltda, Brusque, Brasil). a 3000 rpm. Posteriormente, con la ayuda de un lienzo como elemento de filtración, a la torta se la fue lavando con agua tratada hasta que no presente residuos de almidón. Se dejó reposar el líquido obtenido tras el lavado por un tiempo de 20 a 24 horas hasta que el almidón precipite por completo. El almidón después de haber precipitado se lo llevó a decantación para posteriormente secarlo en una estufa adecuada con un sistema de aire recirculado (Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Alemania) a 50°C por un lapso de 3 horas; para finalizar, el producto secado se molturó, tamizó y almacenó en frascos de vidrio a temperatura ambiente (25 °C). De acuerdo con Flores-Gorosquera et al., 2004 et al., (2004).

3.4 MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE MALANGA

3.4.1 Modificación enzimática del almidón

Los primeros pasos para dar lugar a la modificación enzimática del almidón consistieron en llevar a suspensión una muestra de 10 g de almidón (pesados en base seca) en 20 ml de agua desionizada con su pH corregido a 5,5 (parámetro de control necesario según la enzima). La suspensión de almidón se calentó a baño maría a 85°C por 15 minutos, esto con el fin de llegar a la pregelatinización. Luego, se añadió amilasa (7,5 ug/g de almidón) a la suspensión de almidón. Las muestras se incubaron a 60°C durante 12h a baño maría con agitación (180 rpm). Después a la suspensión se le añadieron 40 ml de agua desionizada. La solución fue filtrada y los gránulos de almidón fueron recogidos en un filtro; este se lavó 3 veces con agua destilada. La muestra obtenida pasó por un proceso de deshidratación en una estufa adecuada con un sistema de aire recirculado y trampilla abierta (Mettler GmbH + Co. KG, Schwabach, Alemania), a una temperatura de 60°C por aproximadamente 20 minutos. Seguidamente se elevó la temperatura en la estufa a 130°C y se siguió con el proceso de secado por 30 minutos más. Las muestras de almidón seco se molieron y se pasaron a través de un tamiz de malla 100 micras y luego se almacenaron en frascos de vidrio que, a su vez, pasaron a un desecador para su análisis ulterior. Todo lo descrito fue ejecutado de acuerdo con el método con algunas modificaciones de Keeratiburana et al., (2019) & Leyva-López et al., (2019).

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALMIDÓN NATIVO

Las propiedades físicas y mecánicas del almidón se determinaron en el Laboratorio de Investigación de Alimentos de la Universidad Técnica de Machala, de acuerdo con los métodos propuestos por la FAO (Aristizábal & Sánchez, 2007).

3.5.1 Rendimiento

Para determinar la cantidad de almidón se utiliza las raíces frescas de malanga, se calculó el porcentaje de rendimiento de la obtención de almidón (García et al., 2012). Se usó la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Rendimiento

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{p_l}{p_{rf} * 0,3} * 100\%$$

P_l = peso (g) del almidón

P_{rf} = peso (g) de las raíces frescas de malanga

3.5.2 Determinación de Humedad – (Gravimetría)

La cantidad de humedad del almidón se determinó en una balanza con calentamiento halógeno MB90/MB120 (OHAUS Corporation, Parsippany, Estados Unidos). Primero se taró, luego se colocó una muestra de 0,50 g a 1 g, se cerró su tapa y el analizador de humedad inició automáticamente el proceso. El equipo presenta dos pantallas; en la primera denota el porcentaje de humedad (% “MC – moisture content”) y en la segunda pantalla se pudo apreciar la curva trazada y pertinente al secado de la muestra en evaluación.

3.5.3 Índice de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad del almidón

La capacidad de hinchamiento (SC) y la solubilidad (S) se determinaron mediante el método descrito por Keeratiburana et al., (2019) y Arenas Riaño & Pedraza Guarnizo (2017) con ligeras modificaciones. Se pesaron 100 mg en base seca del almidón en tubos de centrifuga previamente tarados, seguido de la adición de 10 ml de agua destilada. Las muestras se calentaron a 60 °C durante 30 minutos bajo mezcla continua. Luego, la dispersión se centrifugó a 2300 rpm durante 15 min. El sobrenadante se transfirió a placas de vasos de precipitados de 50 ml, luego se secó a 110 ° C durante la noche y se pesó.

La capacidad de hinchamiento índice de absorción de agua y la solubilidad se calcularon de la siguiente manera:

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

$$CH = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{peso de muestra (g) bs} - \text{peso soluble (g)}}$$

$$s = \frac{\text{Peso del sobrenadante seco (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} * 100$$

3.5.4 Temperatura de gelatinización

El almidón es insoluble en agua fría, al momento que sus gránulos se calientan se alcanzan temperaturas altas, hay temperaturas específicas para cada tipo de almidón; para que sus gránulos se comiencen a hinchar. Esta temperatura se la llama temperatura de gelatinización (Grace, 1977).

Se pesó 25 g de almidón (base seca) y se disolvió en 200 ml de agua destilada. La suspensión se aforó a 500 ml y se procedió a calentar hasta alcanzar 85 °C en la muestra. Se controló la temperatura con la ayuda de un termómetro de inmersión y se la suspensión de almidón se mantuvo a agitación constante. Una vez formada una pasta por la agitación de suspensión, que detonó la llegada al estado de gelatinización, se midió la temperatura (temperatura de gelatinización).

3.5.5 Viscosidad

La viscosidad fue medida con la ayuda de un viscosímetro rotacional Viscolead One (Fungilab S.A., Barcelona, España), por calentamiento indirecto; la viscosidad resultó de la medición de la fuerza de torsión sobre una aguja o husillo rotante con velocidad y temperatura constante (ISI, 2002). Se tomó una muestra de 25 g de almidón (peso en base seca). La muestra fue disuelta en 200 ml de agua destilada calentada a 50 °C para luego ser aforada a 500 ml. La suspensión se calentó con agitación constante hasta alcanzar una pregelatinización (aproximadamente después de la ebullición). Se retiró de la fuente de calor y se tomó control cada 15 minutos sin parar la agitación de la muestra. Una vez que el gel alcanzó la temperatura de 50 °C, se tomó una muestra de 250 ml (condiciones de equipo utilizado). Se accionó y calibró el equipo para esta medición y se utilizó el husillo L2 con una velocidad de torsión de 50 rpm (condiciones según muestra utilizada).

3.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALMIDÓN MODIFICADO

Para llevar a cabo la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del almidón modificado, se realizaron las siguientes pruebas: humedad, rendimiento, índice de absorción de agua (por sus siglas, IIA), solubilidad en agua (S), poder de hinchamiento (PH), temperatura

de gelatinización y viscosidad, planteados en el apartado 3.4, i.e., las mismas metodologías que fueron utilizadas para almidón nativo.

3.7 MICROENCAPSULACIÓN DE VITAMINA C

3.7.1 Diseño completamente aleatorizado

Para determinar si existen o no diferencias significativas entre tratamientos se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado. La variable dependiente fue el peso del material retenido en cápsulas y la variable independiente fue el porcentaje de almidón modificado (5, 10, 15 %) en la disolución por ser llevada al canal de alimentación del secador por atomización; la carga de ácido ascórbico se mantuvo constante en una concentración del 10 % de los sólidos de la solución. Para el procesamiento estadístico, se utilizó el programa informático Minitab 18 (Minitab, LLC, State College, Estados Unidos).

Tabla 4: Tratamientos para mezcla.

Tratamiento	Relación de material de pared e ingrediente activo (%p/p)	
	Ácido ascórbico	Almidón modificado
AM 1	0,56 %	5 %
AM 2	1,11 %	10 %
AM3	1,67 %	15 %

Fuente: Las autoras

3.7.2 Microencapsulación del ácido ascórbico

Se determinaron las combinaciones para proceder a microencapsular (**tabla 4**). Se preparó soluciones de almidón modificado (encapsulante) en agua desionizada (5, 10 y 15 % p/v). Las soluciones se agitaron constantemente durante 10 minutos. Luego se agregó la cantidad en ácido ascórbico que correspondía a cada tratamiento con agitación constante hasta su disolución completa. Las muestras preparadas fueron llevadas a la entrada (alimentación) del *Mini Spray Dryer B-290* (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Suiza). Las temperaturas para el

secado fueron: entrada 160 °C y salida 110 °C, cada uno de los ensayos fueron realizadas por triplicado (Palma-Rodríguez, 2012).

3.8 ANÁLISIS AL MICROENCAPSULADO

3.8.1 Rendimiento de la microencapsulación

Se calculó el rendimiento del proceso de microencapsulación con la siguiente ecuación:

$$\%Rendimiento = \frac{Masa\ de\ polvo\ obtenida(g)}{Masa\ de\ sólidos\ en\ la\ alimentación(g)} * 100$$

3.8.2 Análisis térmico: Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El análisis DSC (calorimetría diferencial de barrido) fue realizado en los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. Se pesó 3 mg de muestra de almidón en cápsulas de aluminio y luego se cerró herméticamente. Las muestras fueron calentadas desde 25 ° hasta 200 °C a una velocidad de 10 °C/min.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5: Propiedades físicas y mecánicas del almidón nativo y modificado de malanga

Parámetros	Almidón nativo	Almidón Modificado
Rendimiento (%)	55,55	80,51
Humedad (%)	9,36±0,150	5,96±0,37
Índice de absorción de agua (g gel/ g muestra)	3,23±0,10	4,76±0,62
Índice de solubilidad en agua (%)	1,49±0,28	6,06±0,20
Poder de hinchamiento (g gel/ g muestra)	3,25±0,10	5,06±0,68
Temperatura de gelatinización (°C)	75±1	82,33±7,70
Viscosidad (cP)	2758±273,81	195,93±32,70

Fuente: Las autoras

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN NATIVO

4.1.1 Rendimiento

El rendimiento obtenido de almidón nativo para una base de cálculo de 50 lb de raíz de malanga fue de 55,55 %, valor menor al reportado por (Torres et al., 2015) para *Colocasia esculenta* Schott que fue 74 % de almidón nativo; mientras que en la investigación de (Zúñiga Bonilla, 2019) se obtuvo 13,12 % a partir de 500 g de muestra de malanga de la variedad *Xanthosoma sagittifolium* y 9,64 % a partir de 500 g de muestra de papa china de la variedad *Colocasia esculenta*. Esta diferencia entre resultados de los autores se debe a la cantidad de materia prima que se procesa y de la variedad local que se usó en cada caso.

4.1.2 Humedad en almidón nativo de malanga

En la **tabla 5** se observa el porcentaje de humedad en el almidón nativo, que fue de 10,23 %, el cual se halla en el rango de humedad corrientemente aceptado para productos no perecederos, mayor a 6,25 % reportado por Antonio-Estrada et al., (2009), mayor a 3,52 % reportado por Zúñiga Bonilla, (2019) para malanga y 4,33 % para papa china de la variedad *Colocasia esculenta* y menor a 14,49 % reportado por Torres Rapelo et al (2013). Las diferencias entre resultados se lo atribuyen a las técnicas de obtención de almidón, existen evidencias de esta afirmación, en una investigación donde determinaron el contenido de humedad en almidón de malanga con diferentes técnicas metodológicas se concluyó que con el método Karl Fisher se obtuvieron valores de humedad mayores que lo que se obtienen por el tradicional método de secado con estufa a 105 °C (Torres Rapelo et al., 2013). Los valores que se obtuvieron en este estudio se los determinó en un equipo medidor de humedad residual. El contenido de humedad de almidón se encuentra dentro del estándar estipulado de 10 % que consta en la regulación revisada de la Organización Nigeriana de Normalización (Standards Organisation of Nigeria SON, 2005) y según la AOAC (2012) que dicta que los valores aproximados de humedad para almidones pueden estar entre 17,5 y 39,4 %, según lo confirma la investigación de Zúñiga Bonilla (2019), en conclusión mientras se consiga una eliminación mayor de la cantidad de agua presente en los almidones se asegura su calidad al prolongar su vida útil.

4.1.3 Índice de absorción de agua

La dimensión del índice para el almidón en estado natural extraído de la malanga fue de 3,23 g agua/g de almidón, mayor a 2,65 g agua/g almidón reportado por Argel Ulbrich, (2013). El valor obtenido también fue mayor también al reportado por Zúñiga Bonilla (2019) para malanga de 2,98 g agua/g almidón y para papa china de la variedad *Colocasia esculenta* 4,89 g agua/g almidón, valor que también es mayor a 1,79 g agua/g almidón reportado para malanga blanca por Torres Rapelo et al. (2013); no obstante, es un valor menor que 4,18 g agua/g de almidón reportado por Torres et al., (2015). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la especie botánica, forma y tamaño del gránulo (Lindeboom et al., 2004), además depende de la temperatura en la que fueron realizadas las pruebas; en este estudio se utilizó una temperatura promedio de 60 °C. Al momento de elevar la temperatura el gránulo de almidón se va hinchando y se llena de agua hasta que se llegue a la temperatura de gelatinización, según la

FAO del 2015 citado por Zúñiga Bonilla (2019), declaró el rango mínimo y máximo aceptable que puede establecerse entre 0,82 y 15,52 g agua/g de almidón, respectivamente. Por lo antes mencionado, se determinó que los valores encontrados en esta investigación estuvieron dentro del rango permitido. La diferencia entre los valores reportados puede deberse al método utilizado para la obtención del almidón, lugar de origen y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.1.4 Capacidad de hinchamiento

En tabla 5 se puede observar el valor en promedio para capacidad de hinchamiento determinado tras análisis de una muestra de almidón en estado natural de malanga que fue de 3,25 g agua/g almidón, valor menor que 6,07 g agua/g almidón reportado por Zúñiga Bonilla (2019) para malanga de la misma variedad y también menor que 7,03 g agua/g almidón para papa china de la variedad *Colocasia esculenta*. La diferencia entre los valores reportados puede deberse al método utilizado para la obtención del almidón, al lugar de origen y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.1.5 Solubilidad del almidón

En tabla 5 se muestra el valor en promedio determinado para solubilidad tras análisis de una muestra de almidón nativo de malanga, que fue de 1,49 %, valor menor que 2,98 % reportado por Zúñiga Bonilla (2019) para malanga de la misma variedad y también menor que 4,89 % para papa china de la variedad *Colocasia esculenta*, según este autor, la FAO (2015) manifestó los valores mínimos y máximos para solubilidad en almidones pueden establecerse entre 0,27 y 12,32 % respectivamente; por lo tanto, los valores determinados en esta investigación estuvieron dentro de lo permitido; la diferencia entre los valores reportados puede deberse al método utilizado para la obtención del almidón, al lugar de origen y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.1.6 Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización determinado para el almidón nativo de malanga fue de 75 °C, valor menor que 84,5 °C, reportado por Pérez et al. (2005) y mayor que 66 °C reportado por Hoover (2001); el valor obtenido también fue mayor que el reportado por Arenas & Pedraza (2017) para la temperatura de gelatinización del almidón nativo de papa de 54 °C. La diferencia

entre los valores se puede deber al método utilizado de obtención, al lugar de origen y a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.1.7 Viscosidad

La viscosidad del almidón nativo de malanga fue de 2758,00 cP a 50 °C. La temperatura influye en este proceso de manera significativa, pero los resultados obtenidos fueron cercanos al valor de 3189 cP a 50 °C como lo reportaron Sefa-Dedeh y Kofi-Agyir Sackey, (2002). La diferencia entre los valores reportados puede deberse al método utilizado para la obtención del almidón, al lugar de origen y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.2 RESULTADOS TRAS ANÁLISIS DEL ALMIDÓN MODIFICADO

4.2.1 Rendimiento

El rendimiento obtenido a partir de 20 g de almidón de malanga después de efectuada la modificación enzimática fue de 16,10 g, valor que corresponde al 80,5 %, valor encontrado después de 16 horas de la modificación. El valor hallado fue mayor que el encontrado al modificar mediante acción química en 80 g de almidón de papa a dos concentraciones (2,7 ml y 10 ml de anhídrido acético) en las mismas condiciones de temperatura y tiempo para los dos tratamientos, i.e., 15 °C durante 30 min. Los resultados reportados por Arenas & Pedraza, (2017) fueron, en promedio, 6,12 y 26,53 %, respectivamente y para almidón de camote, el rendimiento reportado por Guo (2018) a las 8 horas de efectuada la modificación enzimática fue, en promedio, 50,28 %, valor menor que el determinado para esta investigación.

4.2.2 Humedad en almidón modificado de malanga

En la tabla 5 se muestra el porcentaje de humedad del almidón modificado de malanga, que fue de 5,96 %, el cual es menor que 6,17 %, reportado por Barreto Velásquez, (2019) y mayor que 2,4 %, reportado por Torres et al., (2015) para variedades de tubérculos y raíces andinas, específicamente la oca rosada. Las diferencias se pueden atribuir al tipo de tubérculo; la oca por lo general tiene un 84,5 % de humedad en estado vegetal, valor mayor al reportado para malanga de 65,9 % en estado vegetal. Son influyentes también el método o técnica de extracción y modificación del almidón. En el estudio de Torres et al., (2015) fue utilizada una

acetilación del almidón de malanga (*Colocasia e.*) para lograr la modificación a 70 °C y temperatura de secado de 50 °C por 48 h.

4.2.3 Capacidad de hinchamiento

Se puede apreciar en la tabla 6 el parámetro analizado de capacidad de hinchamiento que fue de 5,45 g agua/g almidón valor menor que el reportado por Cholan Quispe (2017) para la variedad de tubérculo andino (papa) que se encontró que estaba entre 7,12 a 12,40 g agua/g de almidón y fue un valor cercano a 5,98 g agua/g almidón reportado por Torruco Uco et al., (2014). La diferencia encontrada en estos valores podría deberse a una deficiencia en el método o técnica utilizada para la modificación del almidón de malanga debido a que se ha generado una modificación de las moléculas de almidón impidiendo la lixiviación de la amilosa y, por ende, se da un poder de hidratación menor. La diferencia entre los valores reportados se puede deber al método utilizado para la modificación, a las propiedades mecánicas y físicas iniciales del almidón y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.2.4 Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua resultante en el ensayo correspondiente al almidón modificado extraído de malanga fue de 4,74 g agua/g almidón. El valor obtenido puede observarse en la Tabla 6. El valor obtenido en cuanto a ese parámetro es cercano a 4,33 g agua/g almidón, valor reportado por Argel Ulbrich, (2013); es mayor que 3,01 g agua/g almidón, reportado para malanga (*Colocasia esculenta*) por Torres et al., (2015), al igual que el valor reportado por Torruco Uco et al., (2014) de 3,04 g agua/g almidón. Estas diferencias pueden estar relacionada con la especie botánica, forma o tipo de modificación que pueden ser más invasivas que otras, por ende, generará una desintegración estructural que hace que se pierda estabilidad y da lugar a un flujo de amilosa e incrementa su solubilidad (Argel Ulbrich, 2013), además dependerá de la temperatura en la que se realizaron las pruebas. En este estudio se utilizó una temperatura promedio de 60 °C, al momento de elevar la temperatura, los gránulos de almidón comienzan a hincharse y se llena de agua hasta llegar a la temperatura de gelatinización. La diferencia entre los valores que se reportaron se puede deber al método utilizado para la modificación, a las propiedades físicas y mecánicas iniciales del almidón y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.2.5 Solubilidad

Se puede apreciar en la tabla 5 el parámetro analizado de solubilidad del almidón modificado que guarda relación inversamente proporcional a la capacidad de hinchamiento. El parámetro de solubilidad en almidón de malanga modificado encontrado tras el análisis fue de 11,67 %, valor menor que el reportado para almidones acetilados (Torruco Uco, et al., 2014) que fue de 33,40 %, mientras que se encontró un valor similar reportado por Deka & Sit (2016) para modificación mediante autoclave que fue de 11,73 % y mayor que el reportado por Cholan Quispe (2017) para la variedad de tubérculo andino i.e., de papa, que está entre un rango de 3,33 a 6,67 %, debido a que el poder de hinchamiento implica que el gránulo absorbe el agua, mas no se disuelve en esta. La diferencia entre los valores reportados se puede deber al método utilizado para la modificación, a las propiedades físicas y mecánicas iniciales del almidón y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.2.6 Temperatura de gelatinización

En la tabla 5 se puede observar el grado o temperatura de gelatinización alcanzado fue a 82,33 °C, valor similar al reportado por Martínez-Bustos et al., (2005) para almidón de yuca modificado con calentamiento óhmico que fue alcanzado a 81,6 °C, valor mayor que el reportado por Arenas & Pedraza (2017). La temperatura de gelatinización para almidón modificado de papa por acción química para los dos tratamientos (2,7 ml y 10 ml de anhídrido acético) se encontró en promedio entre 56 y 61 °C. La diferencia entre los valores reportados pudo deberse al método utilizado para la modificación, a las propiedades físicas y mecánicas iniciales del almidón y, sobre todo, a la variedad de tubérculo o raíz utilizada.

4.2.7 Viscosidad

En la tabla 5 el valor de viscosidad fue de 195,93 Cp, menor al valor de 636 Cp reportado por Leyva-López (2018), en este caso, el tiempo de hidrólisis disminuyó marcadamente la viscosidad. Existió una desintegración de gránulos susceptibles debido a su estructura porosa y dio como resultado suspensiones con menos viscosidad. La diferencia entre los valores reportados puede deberse al método utilizado para la modificación, propiedades físicas y mecánicas iniciales del almidón, calibración de equipos y variedad.

4.3 MICROENCAPSULACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO

La tabla 6 indica los rendimientos obtenidos tras la microencapsulación del ácido ascórbico en el secador por atomización de las mezclas de almidón modificado de malanga como material de pared. El rendimiento obtenido como el más aceptable fue 69,96 %, valor que correspondió al primer tratamiento, con 5 % de material de pared, codificado como AM1. El peso en gramos de microcápsulas retenidas fue evaluado mediante diseño experimental completamente aleatorizado, que se puede apreciar en tabla 7. Para poder sustentar con evidencias estadísticas la variación entre los resultados, dichos valores encontrados también fueron comparados con datos reportados en bibliografía, en donde se analizó la disminución del rendimiento con respecto a los demás tratamientos, variación que pudo deberse a que el almidón modificado no contó con las propiedades físicas y mecánicas necesarias o que las temperaturas de secado por aspersión son muy intensas para este tratamiento; según lo reportado por Tapia Poveda (2017) los valores reportados estuvieron entre 60,75 y 70,10 % con corrección de temperatura de 190 °C entrada/90 °C salida y 130 °C de entrada/80 °C de salida para encapsular ácido ascórbico en almidón de arroz y maltodextrina. El resultado tras el análisis de varianza denota diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tres tratamientos utilizados. Las diferencias significativas que hubo entre los tratamientos se evidenciaron a través de una prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 6: Cantidad (g) de microcápsulas obtenidas por tratamiento.

AM1	AM2	AM3
4,03	2,12	2,81
3,77	2,08	2,82
3,79	2,10	2,84
3,83	2,14	2,80
4,00	2,11	2,81
3,89	2,07	2,85

AM1, AM2, AM3, corresponden respectivamente a; 5,10, 15 % de almidón modificado en la mezcla.

Fuente: Las autoras

Tabla 7: Diseño completamente aleatorizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% almidón	2	9,81363	4,90682	1016,37	0,000
Error	15	0,07242	0,00483		
Total	17	9,88605			

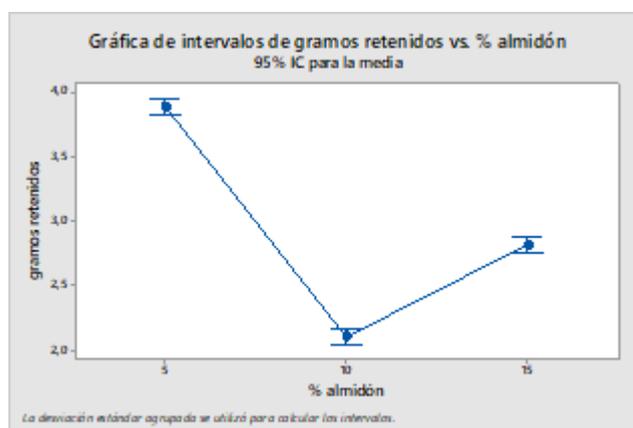
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

% almidón	N	Media	Agrupación
5	6	3,9000	A
15	6	2,82167	B
10	6	2,1033	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 11: Intervalos de tratamientos analizados.



Fuente: Las autoras

4.4 CARACTERIZACIÓN DEL MICROENCAPSULADO

4.4.1 Análisis de humedad de las microesferas en función del tiempo.

Al mejor tratamiento (AM1) con respecto al rendimiento obtenido, se procedió a almacenarlo en bolsas de polietileno a una temperatura promedio de 25 °C. Al analizar la humedad residual del microencapsulado, se evidenció su aumento de humedad en función del tiempo. Los tiempos a los que se evaluaron fueron a las 0, 8, 16, 28 y 40 semanas (**Tabla 8**)

Tabla 8: Humedad del microencapsulado.

Tiempo (semanas)	Humedad (%)
0	1,5±0,24
8	3,36±0,28
16	5,21±0,33
28	7,07±0,35
40	9,85±0,40

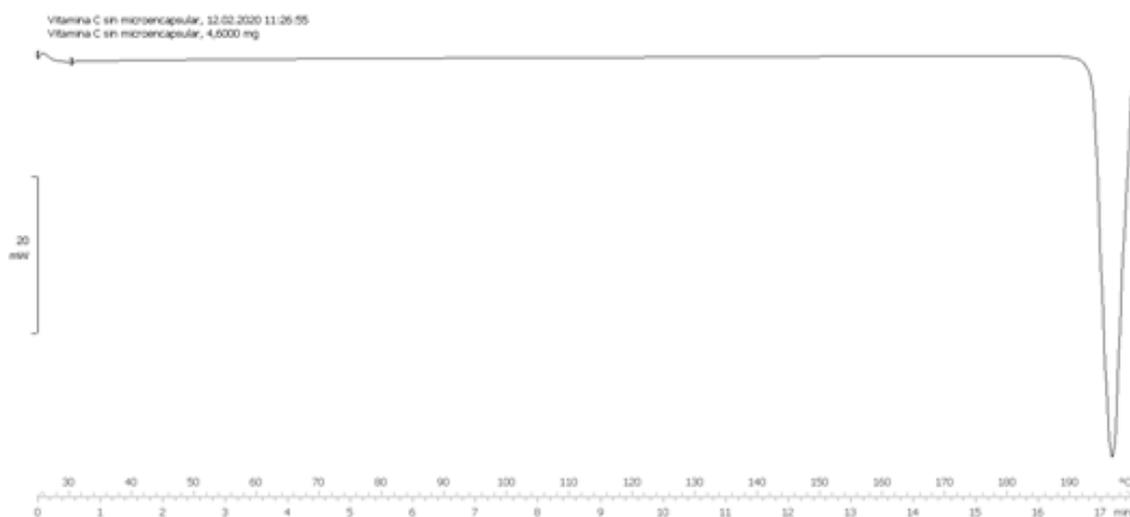
Fuente: Las Autoras

La humedad que se registró inmediatamente después del secado fue de 1,5±0,24 %. El resultado muy similar a lo que postula Palma-Rodríguez et al. (2013), cuando microencapsuló ácido ascórbico mediante la misma técnica de secado que se utilizando en este estudio, pero con diferentes encapsulantes, es valor reportado fue de 1,50±0,038% que indica la humedad óptima del microencapsulado obtenido. Durante todo el proceso de análisis el porcentaje de humedad estuvo dentro de los límites aceptables para los productos en polvo, que es menor al 12 %.

4.4.2 Calorimetría diferencial de barrido

La fusión de agente activo fue alcanzado a una temperatura de 194 °C aprox. (**ilustración 12**) valor cercano al reportado por Tapia Poveda (2017), que fue a una temperatura de 193,43 °C. Los dos valores estuvieron cercanos a la temperatura de fusión del patrón de ácido ascórbico de grado analítico que normalmente está entre 190 a 192 °C. La variación de los valores fue debido a que el agente activo utilizado fue de grado alimenticio.

Ilustración 12: Termograma de ácido ascórbico puro



El material de pared (almidón modificado de malanga) alcanzó el punto de fusión a 95 °C (**ilustración 13**), valor mayor al reportado por Tapia Poveda (2017), que fue a 70 °C para almidón soluble de papa. La variación puede deberse a las características fisicoquímicas y a la variedad.

Ilustración 13: Termograma de almidón modificado

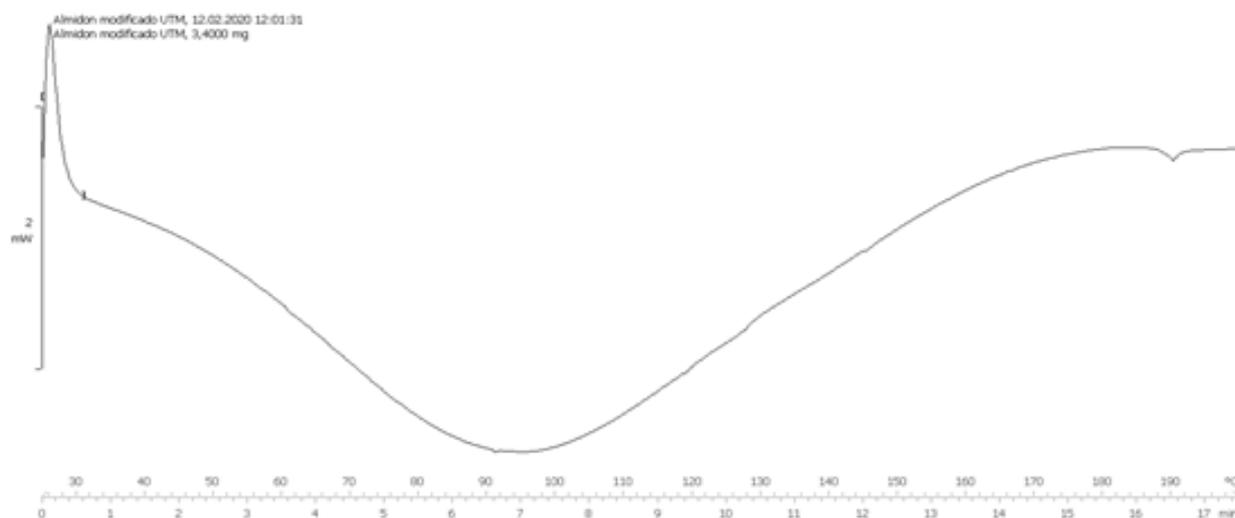
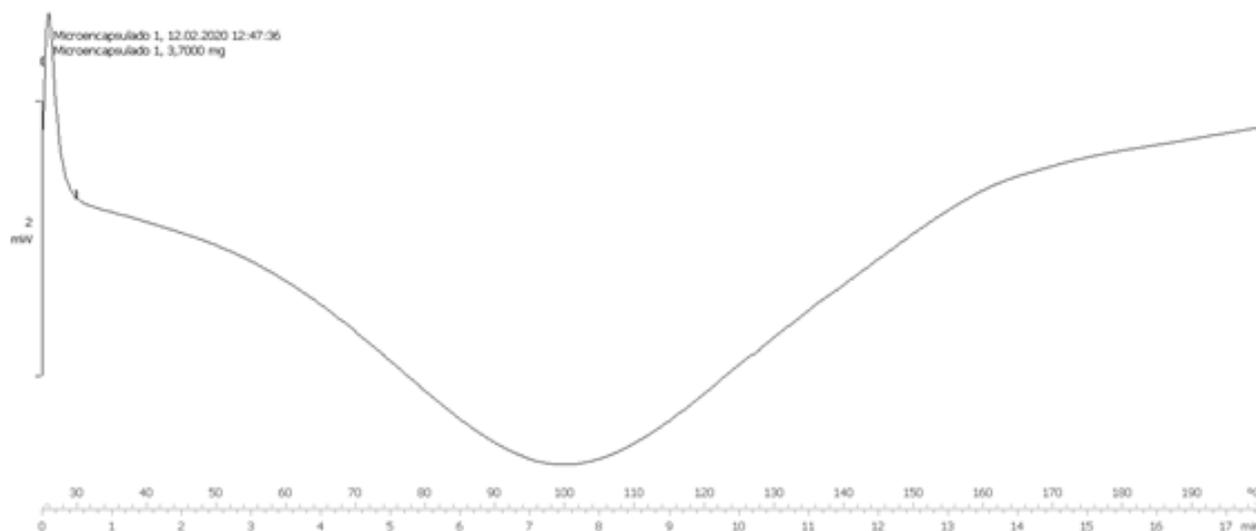


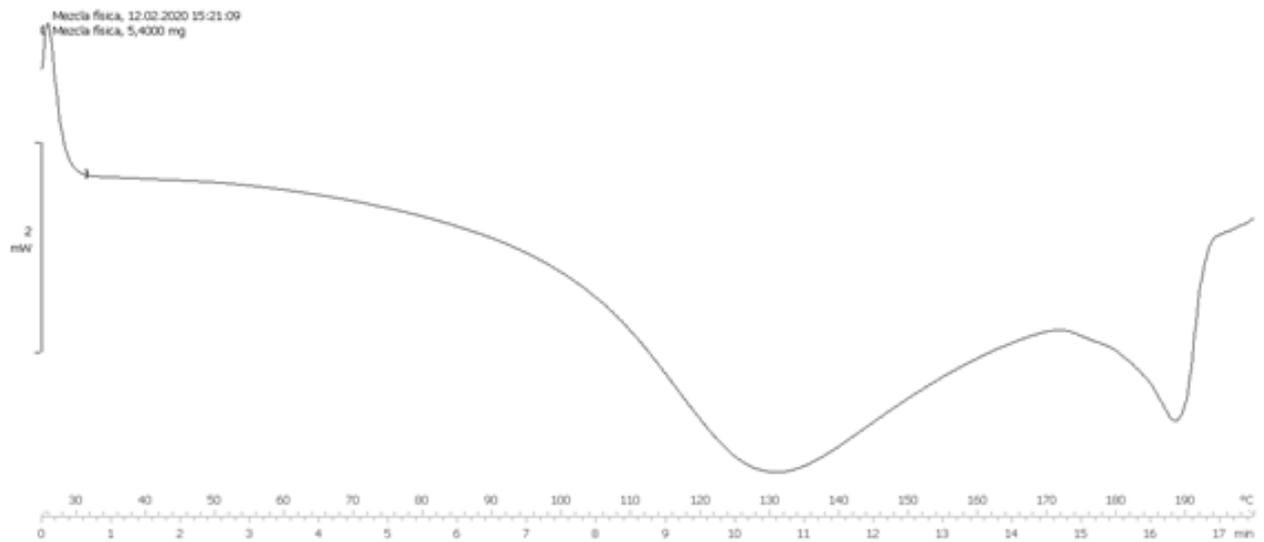
Ilustración 14: termograma microencapsulado AM1



En la **ilustración 14** se puede observar el pico del microencapsulado del mejor tratamiento (AM1) alcanzó su punto de fusión a 103 °C, valor cercano al reportado por Tapia Poveda (2017), que fue a 108 °C, aproximadamente. La variación fue debida al tipo de material de pared o combinaciones de este. Al mismo se lo puede comparar con el termograma de la **ilustración 12** en donde muestra picos reducidos similares y se demostró que el compuesto activo ha sido microencapsulado.

En la **ilustración 15** en donde se presenta un termograma de una mezcla física de almidón de malanga modificado y vitamina C sin la aplicación de microencapsulación.

Ilustración 15: Termograma mezcla física



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Al comparar los resultados obtenidos para la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los almidón nativo y modificado, el almidón de malanga, después de pasar por un proceso de modificación enzimática, mejoró sus propiedades para la encapsulación, entre ellas, índice de absorción de agua ($4,76\pm 0,62$), índice de solubilidad en agua ($6,06\pm 0,20$) y viscosidad ($195,93\pm 32,70$); las características de índice de absorción de agua (alta), índice de solubilidad en agua (alta) y viscosidad (baja) fueron las adecuadas para su uso en el proceso de microencapsulación de vitamina C.
- Mediante diseño experimental se pudo determinar que los tratamientos planteados en la presente investigación fueron significativamente diferentes entre sí, por lo que de entre los tres tratamientos se seleccionó como el mejor a aquel que presentó una mayor cantidad de microcápsulas retenidas que fue aquel con la menor concentración de almidón modificado, i.e., 5 %, con un promedio de 3,9 g de material con microcápsulas retenidas. Con base en que el 5,6 g (5 de almidón y 0,6 g de ácido ascórbico)
- Con el análisis en DSC se pudo determinar que el material de pared utilizado (almidón de malanga modificado) sirvió como microencapsulante del agente activo propuesto (vitamina C) con distintas proporciones por la no presencia del pico generado por el agente activo en los distintos análisis y en cuestión de rendimiento y en función de estabilidad para posibles tratamientos térmicos posteriores, se determinó al tratamiento denominado como AM1 con un punto de fusión a 103 °C.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustiniano Osorno, J. C. (2004). Obtención de Almidón Resistente Mediante Extrusión a partir de Almidón de Mango (Issue 1582). Instituto Politécnico Nacional.
- Ahmed, A., Khan, F. (2013). Extraction of Starch from Taro (*Colocasia esculenta*) and Evaluating it and further using Taro Starch as Disintegrating Agent in Tablet Formulation with Over All Evaluation. *Inventi Rapid: Novel Excipients* , 2013(2), 1–5. <https://www.researchgate.net/publication/263237583>
- Almedia Andrade, M.F., Chiang Guerra, D.S., Zamora Maldonado, P.M. (2009). Producción y Comercialización de la Harina de Malanga y Productos Elaborados: Tortillas y Empanadas en los Mercados de Guayaquil y Quevedo. Escuela Politécnica del Litoral.
- Alvira-Manios, L.F., Chávez-Jáuregui, R.N., Bosques-Vega, Á. (2016). Caracterización del Almidón del Cormo de la Yautía (*Xanthosoma* spp.) del Cultivar Nazareno. June.
- Antonio-Estrada, C., Bello-Pérez, L. A., Martínez-Sánchez, C. E., Montañez-Soto, J. L., Jiménez-Hernández, J., Vivar-Vera, M. A. (2009). Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*) Enzymatic production of maltodextrins from taro (*Colocasia esculenta*) starch. *CYTA - Journal of Food*, 7(3), 233–241. <https://doi.org/10.1080/19476330903091300>
- Arenas Riaño, C.A., Pedraza Guarnizo, D.J. (2017). Evaluación del proceso de modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio (Vol. 4). Fundación Universidad de América.
- Argel Ulbrich, M.L. (2013). Microencapsulación de Aceite de Chía (*Salvia hispánica* L.) Utilizando Almidones Modificados de Malanga (*Colocasia esculenta* Schott) como Material de Pared Mediante Secado por Aspersión. Universidad Veracruzana.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. In FAO (Ed.), FAO (Vol. 163). <https://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Pearson Educación
- Ballesteros, L.F., Ramirez, M.J., Orrego, C.E., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237, 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>

- Barreto Velázquez, F. F. (2019). Obtención Y Aplicación De Almidones Modificados Por Esterificación (Osa) a Partir De Almidones Nativos Provenientes De Tubérculos Andinos [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4250/velasquez-barreto-frank-fluker.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bello-Pérez, L.A., Colonna, P., Roger, P., Paredes-López, O. (1998). Macromolecular features of amaranth starch. *Cereal Chemistry*, 75(4), 395–402. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.4.395>
- Bello-Pérez, L.A., Contreras-Ramos, S.M., Romero-Manilla, R., Solorza-Feria, J., Jiménez-Aparicio, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano musa paradisiaca L. (Var. Macho). *Agrociencia*, 36(2), 169–180.
- Bretón, G., & Munguía, J. (2008). Materiales utilizados en la encapsulación. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* (Vol. 2, pp. 22–27). [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-1/TSIA-2\(1\)-Guevara-Breton-et-al-2008a.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-1/TSIA-2(1)-Guevara-Breton-et-al-2008a.pdf)
- Castañeda, H., Gemio, R., Yapu, W., Nogales, J. (2011). Microencapsulación, Un Método para la Conservación de Propiedades Fisicoquímicas Y Biológicas de Sustancias Químicas. *Revista Boliviana de Química*, 28(2), 135–140.
- Cholan Quispe, Y. C. (2017). Efecto del porcentaje de humedad y temperatura de tratamiento en las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa (*solanum tuberosum* L.) modificado (hmt) var. colparina (Vol. 38, Issue 6). Universidad Privada Antenor Orrego.
- Coronel Delgado, A.Y. (2015). Efecto de las Condiciones de Secado por Aspersión en la Obtención de un Colorante Natural A Partir de Extractos Líquidos de Cúrcuma (*Curcuma longa* L) [Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/48722/1/1086549677.2015.pdf>
- Delgado Rimas, Y. (2018). Aplicaciones de almidones nativos y modificados en la industria láctea y cárnica [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3294>
- Deka, D., Sit, N. (2016). Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. *International Journal of Biological Macromolecules* 92, 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.040>
- Desai, K. G. H., & Park, H. J. (2005). Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, 22(2), 179–192. <https://doi.org/10.1080/02652040400026533>
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A., Bello-Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1), 86–90.

- García, O.R., Pinzón, M.I., Sánchez, L.T. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 11(1), 13–21. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>
- Grace, M.R. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
- Guo, L. (2018). Sweet potato starch modified by branching enzyme, β -amylase and transglucosidase. Food Hydrocolloids, 83, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.005>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. Carbohydrate Polymers, 45(3), 253–267. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)
- Hoyos-Leyva, J. D., Bello-Pérez, L. A., Alvarez-Ramirez, J., & Garcia, H. S. (2018). Microencapsulation using starch as wall material: A review. Food Reviews International, 34(2), 148–161. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261298>
- ISI. (2002). Determination of viscosity of starch by Brookfield. Obtenido de <http://www.starch.dk/ISI/methods/index.asp>
- Keeratiburana, T., Hansen, A. R., Soontaranon, S., Blennow, A., & Tongta, S. (2019). Porous high amylose rice starch modified by amyloglucosidase and maltogenic α -amylase. Carbohydrate Polymers, 230, 115611. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115611>
- Lawal, M. V. (2019). Modified Starches as Direct Compression Excipients – Effect of Physical and Chemical Modifications on Tablet Properties: A Review. Starch/Staerke, 71(1–2), 1–41. <https://doi.org/10.1002/star.201800040>
- Leyva López, R. (2018). Caracterización fisicoquímica y morfológica del almidón de maíz modificado enzimáticamente y su efecto protector y de bioaccesibilidad de ácido ascórbico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Leyva-López, R., Palma-Rodríguez, H. M., López-Torres, A., Capataz-Tafur, J., Bello-Pérez, L. A., & Vargas-Torres, A. (2019). Use of enzymatically modified starch in the microencapsulation of ascorbic acid: Microcapsule characterization, release behavior and in vitro digestion. Food Hydrocolloids, 96, 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.056>
- Lindeboom, N., Chang, P.R., Tyler, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. Starch/Staerke, 56(3–4), 89–99. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>
- Loksuwan, J. (2007). Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. Food Hydrocolloids, 21(5–6), 928–935. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.10.011>

- Lozano Berna, M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de opuntia stricta mediante secado por atomización [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://core.ac.uk/download/pdf/60416955.pdf>
- Martínez Ortiz, L. (2007). Obtención y caracterización de almidones de malanga , arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja [Universidad Veracruzana]. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46987>
- Martínez-Bustos, F., López-Soto, M., Zazueta-Morales, J.J., Morales-Sánchez, E. (2005). Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (Manihot esculenta. Crantz) y jícama (Pachyrhizus erosus) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia*, 39(3), 275–283.
- Morales, V., Santacruz, S. (2017). Uso de Películas Comestibles a Base de Carboximetilcelulosa y Goma Xantana para la Disminución de Absorción de Grasa de Malanga Frita (Xanthosoma Sagittifolium). *Revista Politécnica*, 40(1), 7–12. <https://doi.org/10.33333/rp.v40i1.740>
- Murúa-Pagola, B., Beristain-Guevara, C.I., Martínez-Bustos, F. (2009). Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.035>
- Nawaz, H., Shad, M.A., Saleem, S., Khan, M.U.A., Nishan, U., Rasheed, T., Bilal, M., Iqbal, H.M.N. (2018). Characteristics of starch isolated from microwave heat treated lotus (Nelumbo nucifera) seed flour. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.125>
- Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M., & Shahwar, D. (2016). Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. In *Chemical Properties of Starch* (p. 13). <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Ortiz, V., Velasco, R., Fernández, A., Enríquez, M., Roa, D. (2015). Obtención de una película a base de almidón hidroxipropilado producida por extrusión soplado. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13 (1), 90-98.
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272(August 2018), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Palma-Gámiz, J.L. (2018). Antioxidantes, ¿qué son y para qué sirven?. *Salud y Corazón* 126.
- Palma-Rodríguez, H. M. (2012). Caracterización de almidones de diferentes fuentes tratados con ácido para la encapsulación de vitamina C [Instituto Politécnico

Nacional]. [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13446/Tesis 2012 Heidi Maria Palma Rodríguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13446/Tesis%202012%20Heidi%20Maria%20Palma%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Palma-Rodríguez, H.M., Agama-Acevedo, E., González-Soto, R.A., Vernon-Carter, E. J., Alvarez-Ramirez, J., Bello-Perez, L. A. (2013). Ascorbic acid microencapsulation by spray-drying in native and acid-modified starches from different botanical sources. *Starch/Staerke*, 65(7–8), 584–592. <https://doi.org/10.1002/star.201200200>

Páramo-Calderón, D. E., Carrillo-Ahumada, J., Juárez-Arellano, E. A., Bello-Pérez, L. A., Aparicio-Saguilán, A., Álvarez-Ramírez, J. (2016). Effect of cross-linking on the physicochemical, functional and digestibility properties of starch from Macho (*Musa paradisiaca* L.) and Roatan (*Musa sapientum* L.) banana varieties. *Starch/Staerke*, 68(7–8), 584–592. <https://doi.org/10.1002/star.201500200>

Pharmapproach. (2020). Pharmapproach unifying for progress. Sitio web: <https://www.pharmapproach.com/spray-dryer/>

Pérez, E., Schultz, F. S., Pacheco de Delahaye, E. (2005). Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.033>

Porzio, M. (2004). Flavor encapsulation: A convergence of science and art. *Food Technology Magazine*. Obtenido de <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2004/july/features/flavor-encapsulation-a-convergence-of-science-and-art>

Quezada, L., Martínez, E. (2019). Propiedades térmicas y funcionales del almidón nativo de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) y achira (*Canna edulis*). [Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14106>

Ré, M. I. (1998). Microencapsulation by Spray Drying. *Drying Technology*, 16(6), 1195–1236. <https://doi.org/10.1080/07373939508902366>

Ríos Ríos, K.L. (2014). Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Romero Morán, A. K. (2018). Análisis nutricional comparativo entre snacks de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) y papa china (*colocasia esculenta*) mediante la fritura convencional. Universidad Nacional de Chimborazo.

Rosales, F., Zeledón Flores, J. (2008). Multiplicación agámica de semilla de malanga (*Colocasia esculenta*) mediante la técnica acelerada, con aplicaciones de Bocashi, Lombricompost y testigo. Universidad De Las Regiones Autónomas De La Costa Caribe Nicaragüense.

- Saavedra Baca, J. D. C., Távora Guerrero, C. P. (2014). Microencapsulación y su efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) secado por atomización [Universidad Señor de Sipán]. <http://www.pead.uss.edu.pe/handle/uss/4113>
- Sefa-Dedeh, S., Kofi-Agyir Sackey, E. (2002). Starch structure and some properties of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta*) starch and raphides. *Food Chemistry*, 79(4), 435–444. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00194-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00194-2)
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Gill, B. (2002). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 1–31.
- Singla, D., Singh, A., Dhull, S. B., Kumar, P., Malik, T., Kumar, P. (2020). Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1283–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.093>
- Standards Organisation of Nigeria SON. (2005). Nigerian Industrial Standards (NIS) and Related Publications Catalogue (2005). Nigeria: SON.
- Surco Laos, F. A. (2004). Caracterización de Almidones Aislados de Tubérculos Andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica (Issue 1). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tapia Poveda, M. J. (2017). Microencapsulación del Ácido Ascórbico mediante Secado por Aspersión con Almidón y Maltodextrina (Vol. 4). Universidad Técnica de Ambato.
- Tonon, R.V., Brabet, C., Hubinger, M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Torres Rapelo, A., Montero Castillo, P., Durán Lengua, M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2), 52–61.
- Torres, M., Carmona, R., Aguirre, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 905–912. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n4/v6n4a19.pdf>
- Torruco Uco, J.G., Bravo Vergara, A.R., Carmona García, R., Martínez Sánchez, C. E., Herman y Lara, E., Hernández Santos, B., Rodríguez Miranda, J. (2014). Mojarra tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*): fuente de péptidos con actividad antihipertensiva. In U. J. A. de Tabasco (Ed.), *Investigaciones en Ciencias Biológicas* (Issue October).

- Van der Maarel, M.J.E.C., Capron, I., Euverink, G.J.W., Bos, H.T., Kaper, T., Binnema, D.J., Steeneken, P.A.M. (2005). A novel thermoreversible gelling product made by enzymatic modification of starch. *Starch/Staerke*, 57(10), 465–472. <https://doi.org/10.1002/star.200500409>
- Van der Maarel, M.J.E.C., Van Der Veen, B., Uitdehaag, J.C.M., Leemhuis, H., Dijkhuizen, L. (2002). Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *Journal of Biotechnology*, 94(2), 137–155. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00407-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00407-2)
- Vega Cuevas, Y. L. (2007). Evaluación y selección de auxiliares de formulación para la fotoestabilización de la levadura biocontroladora *pichia onychis* frente a la radiación ultravioleta. Pontificia Universidad Javeriana.
- Yáñez Fernández, J., Salazar Montoya, J. A., Chaires Martínez, L., Jiménez Hernández, J., Márquez Robles, M., Ramos Ramírez, E. G. (2002). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Avance y Perspectiva* 21.
- Ye, Q., Georges, N., Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>
- Zanella Pinto, V., Goncalves Deon, V., Moomand, K., Levien Vanier, N., Pilatti-Riccio, D., da Rosa Zavareze, E., Lim, L. T., Guerra Dias, A. R. (2019). Characteristics of Modified Carioca Bean Starch upon Single and Dual Annealing, Heat-Moisture-Treatment, and Sonication. *Starch/Staerke*, 71(3–4), 1–24. <https://doi.org/10.1002/star.201800173>
- Zúñiga Bonilla, V. N. (2019). Extracción y análisis comparativo de las características del almidón de malanga (*Xanthosoma siggitifolium*), yuca (*Manihot esculenta*) y papa china (*Colocasia esculenta*) [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6680>

ANEXOS

Aislamiento de almidón nativo de malanga.



1. Recepción de materia prima



2. Pesaje de ácido ascórbico



3. Pesaje de materia prima



4. Lavado



6. Cortado en rodajas

5. Pelado de materia prima



prima



7. Inmersión



8. Molienda



9. Secado en estufa

9.



Decantado

10.



11. Molturado



12. Producto final



13. Modificación enzimática



14. Producto final modificado



15. Análisis de humedad



16. Análisis de propiedades



17. Microencapsulación spray Dryer



18. Microcápsula



19. Pesaje de microcápsulas



20. Sellado de las cápsulas



21. Calibración del DSC



22. Análisis calorimétrico en DSC