UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MICROENCAPSULADORA DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) SOBRE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE PULPA DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh) SECADA POR ASPERSIÓN, EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO"

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

CARLOS ALBERTO TORRES CUEVA

PUCALLPA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentada por el Bachiller **CARLOS ALBERTO TORRES CUEVA,** denominada: **"Determinación de la capacidad microencapsuladora del almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para microencapsular compuestos bioactivos de pulpa de camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh) secada por aspersión, en la provincia de Coronel Portillo"** para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.** Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: **APROBADO POR UNANIMIDAD** con el calificativo **17**.

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el: Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**, de conformidad con lo estipulado en el Art. 3 y 6 del reglamento para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 10 de agosto del 2023.

.....	.....
Ing. Isaías Gonzales Ramírez	Dr. Edgardo García Saavedra
Presidente	Secretario
.....	.....
Ing. M.Sc. Alex Rengifo Zumaeta	Ing. M.Sc. Edgar Vicente Santa Cruz
Miembro	Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Esta tesis fue aprobada por el jurado evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar por el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Ing. Isaías Gonzales Ramírez	..... PRESIDENTE
Dr. Edgardo García Saavedra	..... SECRETARIO
Ing. M.Sc. Alex Rengifo Zumaeta	..... MIEMBRO
Ing. M.Sc. Edgar Vicente Santa Cruz	..... ASESOR
Bach. Carlos Alberto Torres Cueva	..... TESISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND/OURIGINAL

Nº V/0412-2023.

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MICROENCAPSULADORA DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) SOBRE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE PULPA DE CAMU-CAMU (Myrciaria dubia HBK Mc. Vaugh) SECADA POR ASPERSIÓN, EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO**"

Autor(es)	:	**TORRES CUEVA, CARLOS ALBERTO**
Facultad	:	**CIENCIAS AGROPECUARIAS**
Escuela	:	**Ing. Agroindustrial**
Asesor(a)	:	**Mg. Vicente Santa Cruz Edgar**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%** verificado en el Sistema Antiplagio URKUND/OURIGINAL,
De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.
En señal de conformidad y verificación se firma y se sella la presente constancia

Fecha: 12/07/2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Dirección General de Producción Intelectual

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, Carlos Alberto Torres Cueva

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada:

Determinación de la capacidad microencapsuladora del almidón modificado de yuca (Manihot esculenta Crantz) sobre compuestos bioactivos de pulpa de camu camu (Myrciaria dubia HBK Mc. vaugh) secada por aspersión, en la provincia de Coronel Portillo

Sustentada el año: 2023

Con la asesoría de: Ing. M.Sc. Edgar Vicente Santa Cruz

En la Facultad: Ciencias Agropecuarias

Escuela profesional: Ingeniería Agroindustrial

Autorizo la publicación:

PARCIAL ☐ Significa que se publicará en el repositorio institucional solo La caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar **si su tesis o documento presenta material patentable**, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL ☒ Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempoy las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 08/09/2023

Email: c_torres252@hotmail.com

Teléfono: 936 951 703

Firma:

DNI: 70649672

DEDICATORIA.

A mi madre, Viviana Cueva Ushñahua, por el ser el sol de mi vida, por su incondicional amor, por su alegría inagotable, por sus valores y enseñanzas.

A mis abuelos Víctor Cueva Mota y Flor de María Ushñahua Amasifuén, por todo el amor y cuidado que me dieron, y por ser la personificación de la tenacidad y el esfuerzo.

A toda mi familia Cueva – Ushñahua que cada vivencia junto a ellos ha dejado una huella indeleble dentro de mí, que me acompaña a donde vaya y me fortalece en momentos malos.

AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme la formación educativa y por facilitarme el acceso a los laboratorios especializados para la ejecución de mi tesis durante las duras restricciones ocasionadas por la COVID-19.

A mi asesor de tesis, Ing. M.Sc. Edgar Vicente Santa Cruz, quien me apoyó desde la concepción de la idea de tesis hasta las revisiones finales del informe con muchas enseñanzas técnicas y científicas.

Al jurado evaluador de mi tesis, Ing. Isaías Gonzales Ramírez, Dr. Edgardo García Saavedra e Ing. M.Sc. Alex Rengifo Zumaeta, por sus valiosas observaciones para la mejora de esta investigación.

A los ingenieros José Antonio Paredes Amasifuén y Ader Martín Guerra Ríos quienes me brindaron una ayuda constante en la ejecución de mi tesis en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ucayali.

ÍNDICE.

RESUMEN. xi
ABSTRACT. xii
LISTA DE CUADROS. xiii
LISTA DE FIGURAS. xiv
LISTA DE ANEXOS. xv
I. INTRODUCCIÓN. 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA. 3
2.1. Antecedentes. 3
2.2. Camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh): Características, composición, beneficios y su producción en Ucayali. 6
2.2.1. Características botánicas. 7
2.2.2. Composición nutricional de la pulpa. 7
2.2.3. Compuestos bioactivos del camu-camu. 9
2.2.4. Beneficios para la salud humana de los compuestos del camu-camu…. 13
2.2.5. Producción y comercialización del camu-camu en el Perú. 16
2.3. Yuca (*Manihot esculenta* Crantz): Características, propiedades del almidón, modificación del almidón y producción en Ucayali. 19
2.3.1. Características botánicas. 19
2.3.2. Producción de yuca en el Perú. 19
2.3.3. Almidón de yuca. 20
2.3.4. Modificación de almidón de yuca. 21
2.4. Microencapsulación de compuestos bioactivos. 23
2.4.1. Principales técnicas de microencapsulación. 24
2.4.2. Microencapsulación utilizando almidón modificado como material de pared…. 26
2.4.3. Evaluación de la calidad de productos obtenidos por microencapsulación. 28
III. MATERIALES Y MÉTODOS. 30
3.1. Lugar de ejecución. 30
3.1.1. Recolección de muestras. 30
3.1.2. Microencapsulación y análisis. 31
3.2. Materia prima. 31
3.3. Materiales, equipos, instrumentos y reactivos de laboratorio. 32

3.4. Metodología experimental. 33
3.4.1. Preparación de almidón de yuca. 33
3.4.2. Modificación del almidón de yuca por el método de dextrinización…… 34
3.4.3. Preparación de soluciones de material de pared. 36
3.4.4. Secado por aspersión de soluciones de camu-camu con almidón modificado de yuca. 36
3.4.5. Análisis de microcápsulas 36
3.5. Variables en estudio. 39
3.6. Técnicas de muestreo. 40
3.7. Diseño experimental 42
IV. RESULTADOS. 44
4.1. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de camu-camu. 44
4.2. Modificación del almidón nativo de yuca y rendimiento de modificación. 44
4.3. Ensayos de atomización de pulpa de camu-camu utilizando el almidón modificado de yuca como material de pared y rendimiento de secado. 46
4.4. Determinación de humedad de las muestras atomizadas. 47
4.5. Contenido de compuestos bioactivos de las muestras atomizadas. 48
4.5.1. Contenido de ácido ascórbico 48
4.5.2. Contenido de fenoles totales. 50
4.6. Superficie de respuesta generada y optimización de las variables de respuesta. 52
4.6.1. Superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico. 52
4.6.2. Superficie de respuesta para el contenido de humedad(%H) 54
V. DISCUSIÓN. 56
5.1. Caracterización del camu-camu. 56
5.2. Sobre el almidón modificado de yuca obtenido. 56
5.3. Eficiencia del proceso de atomización. 57
5.4. Contenido de humedad de las muestras atomizadas. 58
5.5. Cantidad de compuestos bioactivos encontrados en las muestras atomizadas. 58
5.5.1. Contenido de ácido ascórbico 58
5.5.2. Contenido de fenoles totales. 59
5.6. Sobre el modelo de superficie de respuesta. 60
5.6.1. Para el contenido de ácido ascórbico. 60
5.6.2. Para el contenido de fenoles totales. 61

VI. **CONCLUSIONES.** 62
VII. **RECOMENDACIONES.** 63
VIII. **LITERATURA CITADA.** 64
IX. **ANEXOS**. 72

RESUMEN.

En la presente tesis se investigó al almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) modificado por dextrinización como un posible material de pared de compuestos bioactivos de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh), el objetivo fue determinar su capacidad microencapsuladora a través de su eficiencia de retención de ácido ascórbico y fenoles totales al variar la concentración del almidón (10-15%) y la temperatura de aire de entrada (150-190 ºC) en el proceso de secado por aspersión. La modificación del almidón de yuca arrojó un rendimiento de 59%. Esta forma modificada demostró tener solubilidad completa en agua por encima de 40 ºC. La caracterización de la pulpa de camu camu indicó 93.1 % humedad, pH 2.9 y 6.9 ºBrix. El contenido de humedad de las muestras varió entre 3.04 - 5.23 %, con diferencias solamente con el factor temperatura ($p<0.05$), y la prueba de Tukey reveló que en el rango 150-190 ºC hay una diferencia en la reducción de humedad de 1.96% al utilizar 190 ºC de temperatura.

El contenido de ácido ascórbico varió entre 13.59 – 31.10 mg/g MS con pérdidas de 80.62 - 91.50% respecto a la pulpa, con diferencias solamente con la concentración ($p<0.05$), y la prueba de Tukey reveló que en el rango 10 – 15 % hay una diferencia favorable de 16.39 mg de ácido ascórbico/g materia seca para 15% de concentración. El contenido de fenoles totales varió entre 11.97 – 18.53 mg AGE/g MS con pérdidas de 80.49 - 87.39% respecto a la pulpa. El análisis de varianza indicó que no hay diferencias significativas para la temperatura y concentración. El modelo de superficie de respuesta reveló los valores óptimos de ácido ascórbico y fenoles totales son 30.34 mg AA/g MS y 18.37 mg AGE/g MS, respectivamente. Los resultados indican que el almidón de yuca modificado por dextrinización presenta potencial como agente microencapsulante, aunque mayores estudios son requeridos.

Palabras clave: Secado por aspersión, compuestos bioactivos, almidón modificado, yuca, camu camu.

ABSTRACT.

In this thesis, modified cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch by dextrinization was investigated as a possible wall material for bioactive compounds from camu camu pulp (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh), the objective was to determine its microencapsulating capacity through ascorbic acid and total phenolics retention efficiency metrics by varying the starch concentration (10-15%) and inlet air temperature (150-190 ºC) in the spray drying process. The modification of cassava starch had a yield of 59%. This modified form was shown to have complete solubility in water above 40 ºC. The characterization of the camu camu pulp indicated 93.1 % humidity, pH 2.9 and 6.9 ºBrix. The moisture content of the spray-dried samples varied between 3.04 - 5.23 %, with differences only with the temperature factor ($p<0.05$), and the Tukey test revealed that in the range 150-190 ºC there is a difference in humidity reduction of 1.96% when using a temperature of 190 ºC.

The ascorbic acid content varied between 13.59 – 31.10 mg/g DM with losses of 80.62 - 91.50% in relation to the pulp, with differences only with the concentration factor ($p<0.05$), and the Tukey test revealed that in the range 10 - 15% there is a favorable difference of 16.39 mg of ascorbic acid/g dry matter for 15% concentration. The content of total phenolics varied between 11.97 – 18.53 mg GAE/g DM with losses of 80.49 - 87.39% in relation to the pulp. The analysis of variance indicated that there are no significant differences for temperature and concentration. The response surface model indicated that the optimal values of ascorbic acid and total phenolics are 30.34 mg AA/g MS y 18.37 mg AGE/g MS, respectively. The results indicate that modified cassava starch by dextrinization has potential as a microencapsulating agent, although further studies are required.

Key words: Spray drying, bioactive compounds, modified starch, cassava, camu camu.

LISTA DE CUADROS.

Cuadro 1. Composición nutricional de la pulpa de camu-camu. 8

Cuadro 2. Concentración de compuestos fenólicos en piel, pulpa y semillas de un extracto etanólico de camu-camu. 11

Cuadro 3. Composición de carotenoides y contenido de vitamina A de camu-camu cosechado en Iguape y Mirandopolis, Sao Paulo, Brasil. 13

Cuadro 4. Materiales de pared típicos usados para microencapsulación. 24

Cuadro 5. Diseño experimental para la atomización de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 42

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica de pulpa de camu-camu obtenida del caserío Pucallpillo, Distrito de Manantay, Ucayali 44

Cuadro 7. Ensayos de atomización de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 46

Cuadro 8. Determinación de humedad de muestras de pulpa de camu-camu atomizadas utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. .. 47

Cuadro 9. Determinación de contenido de ácido ascórbico (AA) por método de valoración con 2,6 DCPIP en extracto de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 48

Cuadro 10.Eficiencia de microencapsulación de ácido ascórbico en muestras atomizadas de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 49

Cuadro 11.Contenido de fenoles totales (FT) por el método de Folin-Ciocalteu en muestras de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca como material de pared. 50

Cuadro 12.Eficiencia de microencapsulación de fenoles totales (FT) de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca 51

Cuadro 13.Optimización del contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca. 53

Cuadro 14.Optimización del contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca. 55

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Compuestos bioactivos del fruto del camu-camu con actividades beneficiosas para la salud humana. 18

Figura 2. Métodos de modificaciones químicas y físicas del almidón. 22

Figura 3. Representación esquemática de un mecanismo de secado por aspersión. Los números en paréntesis son las tres principales fases del proceso…..... 26

Figura 4. Propiedades fisicoquímicas de almidones modificados relacionadas al nivel de equivalencia de dextrosa. 27

Figura 5. Proceso general de modificación de almidón..... 28

Figura 6. Mapa de Caserío Agua Dulce, Distrito de Campo Verde, Ucayali. .. 30

Figura 7. Mapa de Caserío Pucallpillo, Distrito de Manantay, Ucayali. 31

Figura 8. Proceso de elaboración de almidón de yuca. 33

Figura 9. Proceso de dextrinización de almidón de yuca. 35

Figura 10. Almidón modificado de yuca por método de dextrinización y almidón nativo de yuca. 45

Figura 11. Dos muestras distintas de Camu-camu atomizado con almidón modificado de yuca como material de pared con 45 días de diferencia en su preparación. 46

Figura 12. Curva de estándar de ácido gálico..... 50

Figura 13. Superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared…..... 52

Figura 14. Contornos de la superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 53

Figura 15. Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared…..... 54

Figura 16. Contornos de la superficie de respuesta estimada para el contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 54

LISTA DE ANEXOS.

Anexo 1. Análisis de Varianza para el contenido de ácido ascórbico (AA) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 73

Anexo 2. Prueba de Tukey (Múltiples rangos) para evaluar las diferencias entre medias para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 73

Anexo 3. Análisis de Varianza fenoles totales (FT) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared……..... 74

Anexo 4. Análisis de Varianza para el contenido de humedad (%H). 74

Anexo 5. Prueba de Tukey (Múltiples rangos) para evaluar las diferencias entre medias para el contenido de humedad (%H) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared. 75

Anexo 6. Galería de fotografías de la ejecución de tesis. 76

I. INTRODUCCIÓN.

Existe un grupo específico de alimentos que tienen cantidades muy altas de nutrientes que juegan un rol importante en la dieta y bienestar general, son los denominados 'superalimentos' (Fernández-Ríos et al., 2022). En el Perú uno de esos superalimentos es el fruto amazónico del camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh), rico en vitamina C y compuestos fenólicos que tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas, inmunológicas, entre otras (Castro et al., 2018).

Sin embargo, los compuestos bioactivos del camu-camu son sensibles al deterioro por diversos factores fisicoquímicos (Chang, 2013) y eso presenta retos en su producción para el comercio industrializado. Una alternativa para evitar este deterioro es la microencapsulación, una técnica que se utiliza para proteger los compuestos bioactivos de la degradación durante el procesamiento y almacenamiento, la matriz de las microcápsulas incluye un elemento de protección o *material de pared* y una partícula, substancia o ingrediente activo llamado *material núcleo* (Risch, 1995 citado en Díaz-Montes, 2023). Esta técnica puede ser combinada con el secado por aspersión, que es un proceso de utilización de aire caliente presurizado, para obtener partículas secas y homogéneas que contienen compuestos bioactivos estables (Abbas et al., 2012).

En la actualidad se utilizan diversos materiales de pared; la maltodextrina es uno de los más comerciales, y presenta un costo que oscila entre $600-650 (USD) por tonelada métrica si esta es importada desde China (que es la más barata), esto sin sumar las tarifas de importación. El precio de la maltodextrina ha ido elevándose (costaba aproximadamente $200 en el 2015) debido a su creciente demanda, pues es un aditivo que tiene una amplia gama de usos (Procurement resource, 2022).

La utilización de almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como material de pared para la microencapsulación de compuestos bioactivos de camu-camu es una alternativa interesante frente a las opciones comerciales, ya que en general los almidones modificados tienen propiedades de barrera y

estabilidad frente a las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Starch Europe, 2021). También es importante mencionar que la yuca se produce en grandes cantidades en la región de Ucayali, ocupando el quinto lugar a nivel nacional (MIDAGRI, 2023).

En esta tesis se investigó la microencapsulación de compuestos bioactivos de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared, variando temperatura de entrada de aire de secado y concentración del material de pared, en un proceso de secado por aspersión en la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, Perú. El objetivo fue demostrar que la utilización de almidón modificado de yuca posee una capacidad microencapsuladora significativa de compuestos bioactivos de pulpa de camu-camu. En tanto, como objetivos específicos se planteó determinar las características fisicoquímicas de la pulpa de camu camu, calcular las eficiencias de microencapsulación de los compuestos bioactivos y optimizar los parámetros de concentración de almidón modificado de yuca y temperatura de aire de secado con la metodología de superficie de respuesta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Antecedentes.

Estabilidad de la vitamina C en polvo de acerola y camu-camu obtenido por atomización - García, V. A. S.; Borges, J. G.; Vanin, F. M.; Carvalho, R. A. (2020): En esta investigación, realizada en la Universidad de Sao Paulo (USP) – Brasil, se secó por aspersión pulpa de camu-camu y acerola, dos frutas locales con alto contenido de vitamina C, para analizar la estabilidad en el tiempo de este compuesto bioactivo en el tiempo una vez microencapsulado. Para la producción de los polvos se usó maltodextrina como material de pared, 5% para la acerola y 15% para el camu-camu, y fueron homogenizados por agitación mecánica (500 rpm) por 30 minutos, luego se usó un secador por aspersión marca *Labmaq* modelo MSD 5.0, con los siguientes parámetros: 2.0 mm de diámetro de aguja inyectora, 120 °C (acerola) y 150 °C (camu-camu) de temperatura de entrada de aire; 80 °C (acerola) y 95 °C (camu-camu) de temperatura de salida de aire, y una carga de flujo de 20 mL/min en ambos casos (García et al., 2020).

A continuación, se caracterizaron los polvos en relación a sus características fisicoquímicas, actividad antioxidante, y concentración de vitamina C y su estabilidad bajo diferentes condiciones de almacenamiento (30 °C y 40 °C, 75% humedad relativa). En general los polvos probaron ser estables, con baja actividad de agua (<0.4) y baja humedad (< 4.0 g/100 g polvo) así como altas concentraciones de vitamina C (1593.2 y 6690.4 mg/100 g polvo en la acerola y camu-camu, respectivamente); de igual manera los polvos mostraron una alta actividad antioxidante en los ensayos ABTS, DPPH y FRAP. Los polvos almacenados a 30 °C mostraron mayor estabilidad de vitamina C (García et al., 2020).

Efecto de la velocidad de flujo en la concentración de vitamina C del polvo de Myrciaria dubia (camu-camu) empleando goma arábiga como agente encapsulante - Arteaga Torres, F. I. (2020): En esta investigación de tesis de pregrado realizada en la ciudad de Iquitos, Perú, se utilizó

combinaciones de temperatura de aire de entrada (190 – 200 ºC), concentración de goma arágiba (4 y 6%) y velocidad de giro del aspersor (10000 y 15000 RPM) en un proceso de atomización para evaluar la concentración de ácido ascórbico de jugo de camu-camu (Arteaga Torres, 2020). El análisis del ácido ascórbico fue realizado por el método volumétrico utilizando 2,6 diclorofenolindofenol. Los valores de ácido ascórbico hallados varian en el rango MIN-MAX de 21197 hasta 26175 mg/100 g polvo seco, además indicó que los factores de concentración y velocidad de flujo generaron efectos significativos, más no la temperatura. Por último, evaluó con metodología de superficie de respuesta los factores significativos, llegando a la conclusión que el valor óptimo de vitamina c se obtiene con la velocidad de giro del aspersor a 15000 RPM y la temperatura de 190 ºC (Arteaga Torres, 2020).

Efectos de los parámetros de secado por aspersión sobre las propiedades funcionales in vitro del camu-camu (Myrciaria dubia Mc. Vaugh): una fruta típica amazónica - Fujita, A.; Souza, V.; Daza, L.; Favaro-Trindade, C.; Granato, D.; Genovese, M. (2017) – Se evaluó el efecto de temperatura de aire de entrada y concentración de maltodextrina y goma arábiga como parámetros de atomización de pulpas comerciales de camu-camu. Los parámetros de respuesta que se midieron fueron humedad, solubilidad, fenoles totales (FT), ácido ascórbico (AA) y proantocianidinas (PAC) y capacidad antioxidante in vitro de los polvos (FRAP, DDPH, capacidad reductora de Folin-Ciocalteu). La materia prima fue de pulpa comercial congelada y de camu-camu recolectado, que posteriormente fue pulpeado y congelado. El atomizado se realizó en un equipo escala piloto, la alimentación fue a ritmo de 44 mL/min y a diferentes temperaturas de entrada (120, 150 y 180 °C) con concentraciones a (6%, 12% y 18%) de materiales de pared.

La goma arábiga resultó mejor material de pared que la maltodextrina debido a un mejor rendimiento de atomización (22% contra 30%), solubilidad del polvo (84% contra 90%) y menores pérdidas de compuestos analizados. En conjunto, la temperatura de aire de entrada tuvo un menor impacto que la concentración de materiales de pared en las respuestas estudiadas. Además, análisis de principales componentes mostró que la menor concentración de

materiales de pared (6%) en la atomización resultó en las menores pérdidas de compuestos bioactivos y, consecuentemente, la mayor capacidad antioxidante (Fujita et al., 2017).

Derivados del ácido elágico, elagataninos, proantocianidinas y otros fenoles, vitamina C y capacidad antioxidante de dos productos en polvo del fruto del camu-camu (Myrciaria dubia) - Fracassetti, D.; Costa, C.; Moulay, L.; Tomás-Barberán, F. (2013): En esta investigación producida en España se logró caracterización de dos diferentes tipos de polvos de camu-camu, el primero un atomizado de la pulpa y el segundo una harina de los remanentes de piel, semillas y la pulpa adherida a estos. El objetivo principal fue caracterizar los compuestos fenólicos, cuantificar la vitamina C y determinar la capacidad antioxidante de ambos tipos de polvos (Fracassetti et al., 2013). La materia prima fue obtenida de Pucallpa, Ucayali (Perú) y su pulpa fue secada por aspersión utilizando maltodextrina al 10% con 185 ºC de temperatura de aire de entrada y 95 ºC de temperatura de aire de salida.

Respecto al polvo atomizado de camu-camu, los investigadores reportaron que los compuestos fenólicos de mayor contenido son la myrciteína 3-O pentóxido (flavonol) con 1.47 mg/100 g, la cianidina 3-O-glucósido (antocianina) con 19.63 mg/100 g polvo, el ácido elágico con 5.60 mg/100 g polvo y la castalagina (elagitanino) con 12.71 mg/100 g polvo. Además, el contenido total de fenoles fue de 48.5 mg/100 g de polvo mientras que en la harina fue de 672.49 mg/100 g polvo. El contenido de ácido ascórbico hallado en las muestras fue de 3.51 g/100 g de polvo, la capacidad antioxidante por el ensayo ABTS fue de 167.5 µmol Trolox/100 g polvo, mientras que por el ensayo DPPH fue de 510.5 µmol Trolox/100 g polvo. En todas las categorías de análisis mencionados, la harina de camu-camu tuvo valores superiores, así como también más compuestos fenólicos detectados (Fracassetti et al., 2013).

Estudio de la microencapsulación del jugo de camu-camu (Myrciaria dubia) - Dib Taxi, C.; Menezes, H.; Santos, A.B.; Grosso, C. (2003) – Esta investigación realizada en Brasil centró su foco en el uso de la maltodextrina y goma arábiga para microencapsular por atomización los compuestos bioactivos

del jugo de camu-camu. Las frutas usadas estuvieron en un estado semi-maduro, transportadas en estado congelado, y se mantuvieron almacenadas a -18°C. El proceso comenzó con un escaldado a 95 ± 2°C por 2 min, enfriamiento en baño helado y extracción de jugo usando un despulpador tipo cepillo. Un atomizador fue usado para el secado y microencapsulación, operando a una velocidad de 25-30 ml/min, presión de 5 atm, diámetro de inyector de 1 mm, temperatura de aire de entrada de 100-160°C, temperatura de aire de salida a 85°C, concentración de materiales de pared de 5-35%, de acuerdo a un diseño factorial experimental.

Los resultados utilizando maltodextrina mostraron que el mayor rendimiento (más del 26%) se obtuvo con un rango de aire de entrada de 120-152°C y una concentración de material de pared de 12-32%, encima o debajo de esos límites se obtuvo un rendimiento menor. El incremento de rendimiento de vit. C en el producto seco ocurrió con una disminución en el contenido de maltodextrina, por tanto, las condiciones óptimas se establecieron en 15% de maltodextrina y aire de entrada a 150°C, dando un rendimiento de 26% de producto seco y 7% de vit. C (Dib Taxi et al., 2003).

2.2. Camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc. Vaugh): Características, composición, beneficios y su producción en Ucayali.

El camu-camu es un cultivo oriundo de la amazonía, posee moderada diversidad genética, su fruto tiene el atributo principal de poseer el contenido de ácido ascórbico más alto en todo el mundo, este compuesto se encuentra principalmente en la cáscara del fruto en estado de maduración (Arellano-Acuña y otros, 2016). Además, posee otros nutrientes y metabolitos secundarios con efectos beneficiosos, como actividad antioxidante y antinflamatoria, efectos antihipertensos, antidiabéticos, hipolipemiantes, protección contra el cáncer y daño del ADN, entre otras bioactividades (Castro et al., 2018).

2.2.1. Características botánicas.

Género: De acuerdo a lo que menciona Dostert et al. (2009) “El género *Myrciaria* Berg incluye 15 especies (21) y pertenece a la familia Myrtaceae (Mirtáceas). El género se encuentra distribuido desde México hasta Uruguay. Las especies de Myrciaria son arbustos o árboles con inflorescencias en glomérulos axilares, con 4-6 flores hermafroditas” (Dostert et al., 2009).

Morfología del fruto: Es comestible, de sabor muy ácido, es una baya esférica con un diámetro de 1-5 cm, con pesos medios de 11.7 ± 1.4 g (Dostert et al., 2009). Además, basado en peso fresco, las frutas están compuestas de 65.2% pulpa, 19.5% semillas y 15.3% cáscara (Castro et al., 2018). La baya tiene en el ápice una cicatriz hipantial redondeada, desarrolla en estado maduro un color café-rojizo a violeta-negruzco y una pulpa carnosa suave en la que se encuentran alojada 2-4 semillas (Dostert et al., 2009).

Variabilidad: La máxima concentración de poblaciones naturales y la mayor variabilidad genética se encuentran en el territorio amazónico peruano, y el origen de la especie se encuentra con alta probabilidad en el territorio amazónico occidental (Dostert et al., 2009).

Distribución en Perú: La especie presenta una alta abundancia en el territorio amazónico, a lo largo de las riberas de los ríos Napo, Nanay, Ucayali, Marañón y Tigre. También se encuentra cultivada en Satipo (Junin) (Dostert et al., 2009). Poblaciones naturales solo existen en la región Loreto, aproximadamente 1345 ha, en tanto, plantaciones artificiales se han establecido en Loreto (~6475 ha), San Martin (~110 ha) y Ucayali (~5930 ha) (Castro et al., 2018).

2.2.2. Composición nutricional de la pulpa.

En la composición del camu-camu el metabolito más resaltante es el ácido ascórbico, cuya cantidad promedio oscila entre los 2500-3000 mg/100

g, siendo este 100 veces más alta que el limón (Myoda et al., 2010). A continuación se detalla la composición nutricional:

Cuadro 1. Composición nutricional de la pulpa de camu-camu.

Componente por 100 g	Contenido
Análisis bromatológico	
Energía (kcal)	19.48 ± 3.68
Agua	93.83 ± 0.51
Proteína	0.51 ± 0.07
Carbohidrato	4.84 ± 0.80
Lípidos	0.17 ± 0.10
Ceniza	0.22 ± 0.03
Fibra cruda	0.56 ± 0.40
Sólidos solubles totales	6.18 ± 0.99
pH	2.84 ± 0.31
Aminoácidos esenciales (mg/100 g)	
Valina	242.00 ± 104.65
Leucina	210.50 ± 111.02
Fenilalanina	32.00 ± 5.66
Treonina	
Ácidos grasos esenciales (% del total de lípidos)	
C18:3ω3 (α-Linolenico)	16.00 ± 0.70
C18:2ω6 (Linoleico)	9.70 ± 0.40
C18:3ω6 (γ-Linolenico)	9.30 ± 0.20
C20:5ω3 (EPA)	7.00 ± 0.10
Vitaminas (mg/100g)	
Ácido ascórbico	2210.00 ± 650.00
Niacina	0.48 ± 0.28
Riboflavina	0.03 ± 0.02
Tiamina	0.01 ± 0.00
Minerales (mg/100g)	
K	87.020 ± 29.382

Componente por 100 g	Contenido
PO_4	18.183 ± 8.122
SO_4	14.750 ± 2.192
Ca	14.150 ± 9.346
Cl	9.100 ± 3.536
Mg	7.393 ± 4.323
Co	1.173 ± 0.807
Na	0.934 ± 1.546
Mn	0.820 ± 1.118
Fe	0.424 ± 0.152
Al	0.255 ± 0.064
Zn	0.230 ± 0.138
Cu	0.177 ± 0.072
B	0.050 ± 0.000
Br	0.021 ± 0.005
Cr	0.015 ± 0.004
Mo	0.004 ± 0.002
Se (µg)	0.429 ± 0.089

Fuente: Castro et al. (2018)

2.2.3. Compuestos bioactivos del camu-camu.

Los compuestos bioactivos son constituyentes de algunas plantas y alimentos, que se caracterizan por cumplir funciones específicas en el cuerpo humano, y brindan un beneficio adicional a la salud. Un gran porcentaje de estos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, entre los cuales se encuentran antibióticos, micotoxinas, alcaloides, pigmentos y fenólicos (Martins et al., 2011). Entre los compuestos fenólicos se destacan los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos (Martins et al., 2011).

Los frutos del camu-camu tienen diversos compuestos bioactivos en cantidades relevantes que ofrecen beneficios para la salud. Muchos investigadores han identificado estos compuestos, y se mencionará los de mayor relevancia:

Ácido ascórbico:

El contenido de este metabolito supera los 2000 mg/100 g de pulpa, llegando hasta los 3000 mg/100 g de pulpa, superando a cítricos conocidos como la naranja, limón y mandarina en casi 30 veces (Imán et al., 2011). Dado que este compuesto es termosensible, fácilmente degradable, también se han estudiado su contenido en formas secas que aumentan su tiempo de vida útil, como la investigación de Fracassetti et al. (2013) que reporta contenidos de 3.51 ± 0.97 g /100 g en polvo de pulpa y 9.04 ± 0.95 g /100 g en harina de camu-camu a partir de piel y semillas.

El estado de madurez del fruto influye en el contenido de ácido ascórbico, y el resto de compuestos bioactivos. Chirinos et al.(2010) reportaron que al avanzar el estado de madurez (Verde, rojo-verdoso y Rojo), el contenido de ácido ascórbico desciende (ácido ascórbico desciende de 2280 hasta 2010 mg/100 g - producto fresco) y el contenido de antocianinas, flavonoles, flavanolas y otros compuestos fenólicos aumenta (Fenoles totales aumenta de 1120 hasta 1320 mg GAE/100 g - producto fresco).

Polifenoles:

Se utiliza este término para englobar a los flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, estilbenos y lignanos. Diferentes tipos de flavonoides tales como flavonoles, flavanoles, flavanonas, antocianinas se encuentran en los frutos de camu-camu (Atker et al., 2011). El contenido de polifenoles del camu-camu es muy alto, según lo confirman investigaciones en Brasil y Perú, superando a la uva azul (*Myrciaria vexator*), cambuci (*Campomanesia phaea*), arazá (*Eugenia stipitata*), tucumá (Astrocaryum aculeatum) y uxi (Endopleura uchi) (Atker et al., 2011). También es importante mencionar que el camu-camu posee una gran variedad de compuestos fenólicos, encontrándose hasta 53, siendo estos los siguientes: flavonoles (6), antocianinas (1), ácido elágico y sus derivados (10), elagitaninos (10), ácido gálico y derivados (2) y proantocianidinas (24) (Fracassetti et al., 2013).

Además, es importante mencionar la variedad de compuestos fenólicos que existen en las diferentes partes del fruto del camu-camu, es decir,

pulpa, semillas y piel, si bien la pulpa tiene la mayor relevancia comercial, sus subproductos también tienen compuestos bioactivos de relevancia, tanto las semillas y piel, que llegan a ser un alto porcentaje de residuos en el procesamiento industrial – hasta 40% (Rodrigues et al., 2001).

Cuadro 2. Concentración de compuestos fenólicos en piel, pulpa y semillas de un extracto etanólico de camu-camu.

Piel		**Pulpa**		**Semillas**	
Compuesto fenólico	[C] (mg/g extracto)	Compuesto fenólico	[C] (mg/g extracto)	Compuesto fenólico	[C] (mg/g extracto)
No antocianinas		No antocianinas		No antocianinas	
Ácido 4-O-cafeoilquínico	1.41 ± 0.04	p-cumaroilhexósido	1.77 ± 0.01	Valoneicaácido di-lactona	1.893 ± 0.004
p-cumaroilhexósido	2.71 ± 0.02	Hexósido de ácido ferulico	0.307 ± 0.002	Di-HHDP-galoil-glucósido	1.41 ± 0.01
(Iso)liquiritigenina-O-hexósido	1.38 ± 0.02	Miricetina-O-hexósido	0.613 ± 0.003	Hexosido de ácido elágico	2.12 ± 0.01
(Iso)liquiritigenina-O-hexósido	0.71 ± 0.01	Miricetina-O-pentósido	0.63 ± 0.01	(Iso)liquiritigenina-O-hexósido	Trazas
(Iso)liquiritigenina-O-hexósido	0.323 ± 0.003	Antocianinas		Pentósido de ácido elágico	5.59 ± 0.03
Miricetina-O-pentósido	4.91 ± 0.08	Cianidina-3-O-glucósido	1.000 ± 0.001	Ácido elágico	8.57 ± 0.03
Miricetina-O-desoxihexósido	2.47 ± 0.01	**Polifenoles Totales**	4.32 ± 0.03	Elagicacetilramnósido	2.07 ± 0.01

Piel		Pulpa	Semillas	
Apigenina-O-hexósido	4.1 ± 0.2		Elagicacetilramnósido	1.75 ± 0.01
Derivado del ác. elágico	1.56 ± 0.01		**Polifenoles Totales**	23.41 ± 0.07
Derivado del ác. elágico	1.43 ± 0.01			
Derivado del ác. elágico	2.17 ± 0.04			
Derivado del ác. elágico	2.61 ± 0.03			
Antocianinas				
Delfinidina-3-O-glucósido	2.98 ± 0.04			
Cianindina-3-O-glucósido	4.68 ± 0.07			
Polifenoles Totales	33.4 ± 0.5			

Fuente: Modificado y resumido (Conceição et al., 2020).

Carotenoides:

El camu-camu contiene diversos carotenoides, siendo los que están en mayor proporción luteína, beta-caroteno y zeaxantina. Estos compuestos están dentro del grupo de compuestos bioactivos que ofrecen actividad antioxidante (Atker et al., 2011). El contenido de carontenoides del camu-camu es más alto que en el casho (*Anacardium occidentale*), pero más bajo que en el mango (*Mangifera indica*) y la acerola (*Malpighia emarginata*) (Zanatta & Mercadante, 2007). Los mismos investigadores mencionan que si solamente hablamos del carotenoide predominante, la luteína, el camu-camu supera a todas las frutas y está al nivel de algunos vegetales. El contenido total de carotenoides en el camu-camu es 0.4 mg/100 g producto fresco (Rufino et al., 2010).

Cuadro 3. Composición de carotenoides y contenido de vitamina A de camu-camu cosechado en Iguape y Mirandopolis, Sao Paulo, Brasil.

Carotenoide	Concentración (µg/100g)	
	Iguape	Mirandopolis
Neoxantina	3.9 ± 1.7	20.8 ± 13.3
Cis-neoxantina	2.1 ± 1.8	16.0 ± 10.2
Violaxantina (todo-trans+cis)	12.0 ± 19.3	115.6 ± 62.4
Luteoxantina	21.5 ± 13.4	60.0 ± 20.7
No identificado-436	2.3 ± 2.7	26.1 ± 6.1
Flavoxantina*+mezcla	9.4±4.9	6.7 ± 0.6
5,6-epoxi-luteína	2.1 ± 3.7	8.6 ± 8.6
5,8-epoxi-zeaxantina	9.2 ± 9.8	*No detectado*
5,6-epoxi-zeaxantina	12.9 ± 22.3	47.7 ± 22.7
Luteína todo trans	160.5 ± 114.0	601.9 ± 92.5
Zeaxantina	22.9 ± 13.0	38.0 ± 12.7
Sintaxantina	1.11 ± 0.4	1.0 ± 0.3
b-criptoxantina (todo-trans+cis)	9.9 ± 3.7	6.9 ± 0.2
5,8-epoxi-b-caroteno	3.6 ± 2.4	1.2 ± 2.0
No identificado-427	8.6 ± 9.4	2.8 ± 3.7
β-caroteno	72.8 ± 74.6	142.3 ± 23.7
Carotenoides totales	354.8 ± 260.5	1095.3 ± 237.0
Vitamin A (RE/100g)	14.2 ± 13.4	24.5 ± 4.1

Fuente: Zanatta & Mercadante (2007).

2.2.4. Beneficios para la salud humana de los compuestos del camu-camu.

Los beneficios que el camu-camu genera en la salud humana son muy variados y tienen una incidencia significativa, y han sido ampliamente estudiados en los últimos 20 años. Se revisan estos beneficios, estudiados por diversos científicos, como se resume a continuación:

a. Actividades antioxidante y antiinflamatoria.

La capacidad antioxidante es la medición primaria para evaluar el estado y el potencial del estrés oxidativo (Maurya, 2014). Niveles elevados de estas especies reactivas de oxígeno pueden ser causal de toxicidad de muchos xenobióticos, agentes externos que alteran la respuesta del sistema inmunológico. En general las especies reactivas de oxígeno son asociadas en la patogénesis de muchas enfermedades crónicas que incluyen el cáncer, arterosclerosis, diabetes, enfermedades cardiovasculares, enfermedades de Alzheimer y Parkinson, disfunción inmunológica y daño hepático (Shankar & Mehendale, 2014). La producción de radicales libres de diferentes fuentes biológicas y ambientales se debe a un desequilibrio de los antioxidantes naturales, lo que conduce a diversas enfermedades inflamatorias asociadas (Arulselvan et al., 2016), estas incluyen las antes mencionadas y también artritis, obesidad, trastornos oculares y enfermedad inflamatoria intestinal (Banu & Lunghar, 2021).

Los altos contenidos de ácido ascórbico y fitoquímicos fenólicos totales encontrados en el camu-camu le otorgan una gran cantidad de actividad antiradical, y en comparación con otros frutos de la familia Myrtaceae es una actividad muy alta, científicos estudiaron en un ensayo de 14 diferentes frutos de la mencionada familia en forma seca mediante el ensayo DPPH, teniendo el camu-camu la actividad antiradical más alta (Reynertson et al., 2008). Una investigación en Brasil menciona incrementos en capacidad antioxidante del plasma sanguíneo y en las actividades de glutatión peroxidasa, superoxido dismutasa y catalasa del hígado, al utilizar camu-camu (Gonçalves et al., 2014). Adicionalmente, un grupo de investigadores japoneses demostró que el extracto metanólico de semillas del camu-camu reduce significativamente la formación de edemas, siendo el compuesto bioactivo responsable el ácido betulínico (Yazawa et al., 2011).

b. Actividades hipolipidémica y antiobesa.

Fármacos que dismininuyen la concentración de lipoproteínas en el plasma sanguíneo al inhibir su producción en el organismo o al removerlos del plasma son llamados hypolipidemiante o antiesclerótico (Vardanyan & Hruby, 2006). Varios estudios en modelos animales y humanos han corroborado los beneficios del fruto del camu-camu en la mejora de los perfiles bioquímicos lipídicos, la razón de estas mejores se asocia a la existencia de fibra dietaria en la pulpa del fruto (Castro et al., 2018). Por ejemplo, ensayos realizados por Nascimiento et al. (2013), citado en Castro et al. (2018), en ratas con una dieta inducida para la obesidad, se le administró 25 mL de pulpa de camu-camu diariamente por 12 semanas, resultando en una significativa reducción de la grasa en los tejidos adiposos blancos. Los niveles de triacilgliceroles (↓40,6 %), colesterol total (↓39,6 %), colesterol LDL (↓2,14 %) y colesterol VLDL (↓36,4 %) también se redujeron y el colesterol HDL (↑12,3 %) aumentó en los grupos experimentales.

c. Actividad antidiabética.

El camu-camu ha sido estudiado en relación a su actividad con el azúcar en la sangre, para observar si puede generar algún efecto significativo positivo en poder tratar la enfermedad de diabetes. Diversos estudios, Gonçalves, Lajolo, & Genovese (2010); De Azevêdo et al. (2014); Fujita et al. (2015); Fujita et al. (2017), citados en Castro et al. (2018) han demostrado que extractos metanólicos y extractos de poliamidas purificadas, residuos de pulpeado del fruto, polvos de extracto de pulpa (atomizados y liofilizados) y bebidas probióticas de polvo de fruto seco del camu-camu tienen propiedades antidiabéticas debido a la combinación de actividades inhibidoras de alfa-amilasas moderadas y alfa-glucosidasas potentes. Además, otro estudio de Balisteiro et al. (2017), citado en Castro et al. (2018), demostró que individuos saludables que ingirieron un jugo de camu-camu rico en polifenoles redujeron significativamente los niveles del azúcar en la sangre en 31% después de una ingestión de una comida rica en carbohidratos. La actividad hipoglucémica de estas preparaciones se puede atribuir a polifenoles de las frutas del camu-camu.

d. Actividades antibacteriales y antiparasitarias.

Investigadores japoneses, peruanos y brasileños han reportado que el camu-camu tiene acción antimicrobial fuerte contra *Staphylococcus aureus*. Myoda et al. (2010) encontraron que los extractos metanólicos de la piel y semillas tienen acción antimicrobial sobre *Staphylococcus aureus*. También, un grupo de investigadores peruanos, Mori et al. (2016), reportaron que extractos hidroalcohólicos derivados de las hojas y corteza del camu-camu demostraron actividad contra *Staphylococcus aureus.* Investigadores brasileños estudiaron la actividad antimicrobial contra *Staphylococcus aureus* de residuos industriales (piel y semillas) de camu-camu, encontrando que se producen zonas de inhibición más altas y menor concentración inhibidora mínima (De Azevêdo et al., 2014). Por otro lado, el camu-camu también ha demostrado efectividad contra otros microorganismos, a través de extractos metanólicos de pulpa y semillas contra las bacterias cariogénicas *Streptococcus mutans* y *Streptococcus sanguinis* (Camere-Colarossi et al., 2016).

Respecto a la actividad antiparasitaria, el camu-camu se ha mostrado efectivo contra *Plasmodium falciparum*, es decir el parásito que causa la malaria. Debido a que *Plasmodium falciparum* se alimenta de la hemoglobina, su digestión libera un subproducto tóxico para este parásito, la hemina o ferriprotoporfirina IX, que es detoxificado por dos vías, la primera es formando un polímero insoluble cristalino llamado hemozoína o pigmento de malaria, el segundo es una degradación de la hemina por el glutatión, una coenzima que neutraliza especies reactivas (Frolich et al., 2005). Inhibir estas rutas metabólicas es referido como actividad antiplasmodial, y esto es lo que se reportó en un estudio donde se usó el extracto etanólico acuoso (70%) de piel del fruto, hojas y semillas, obteniendo IC_{50} (Concentración inhibitoria máxima media) < 5.0 µg/mL, que significa un fuerte potencial inhibidor (Ruiz et al., 2011).

2.2.5. Producción y comercialización del camu-camu en el Perú.

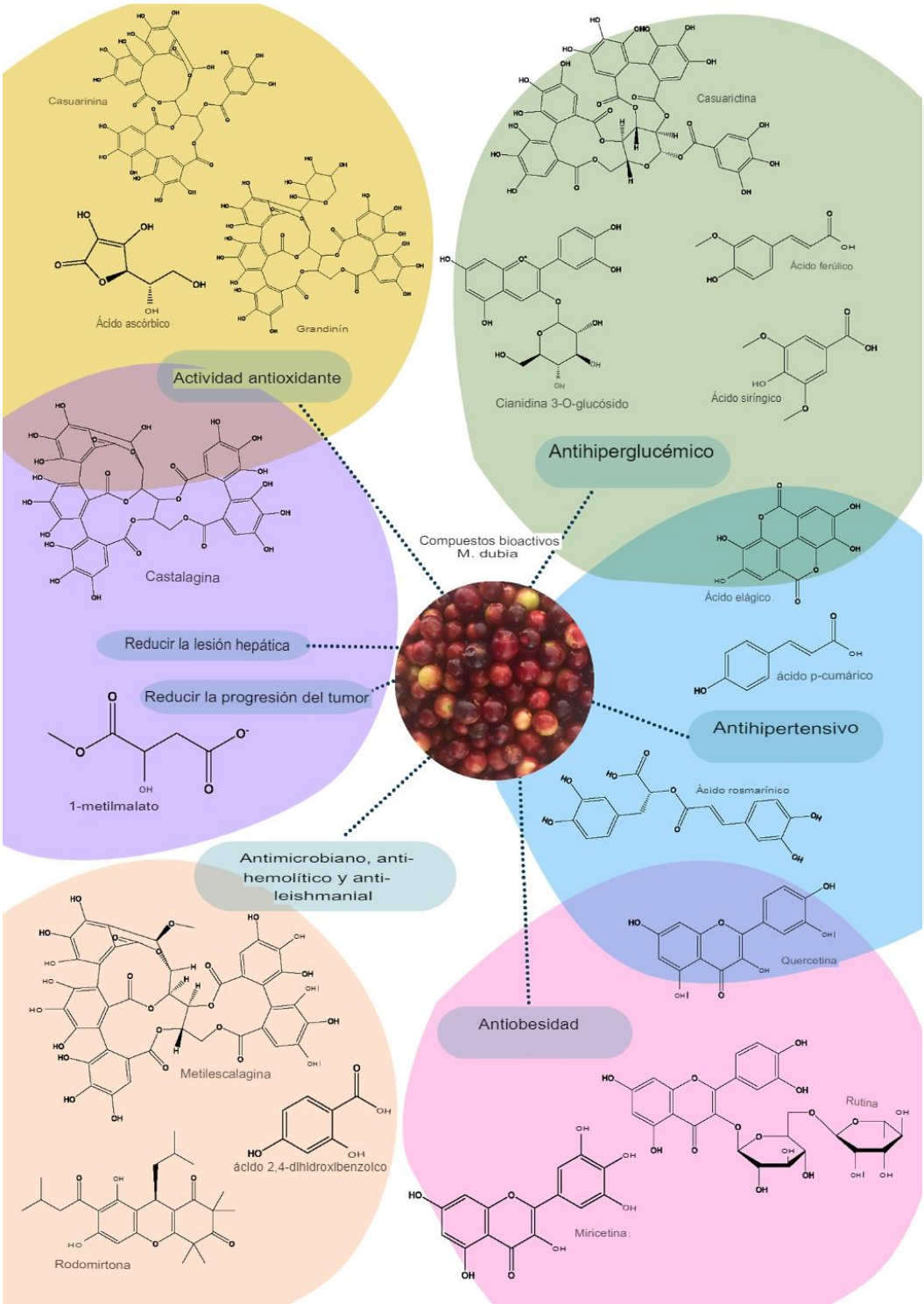
Según los datos oficiales más recientes del MIDAGRI, existen solo dos regiones productoras agrícolas de camu-camu en el país: Ucayali y Loreto.

En Ucayali se produjeron 2,005 toneladas en 2021; 1,923 toneladas en 2020 y 1,633 toneladas en 2019. En comparación, Loreto produjo 12,276 toneladas en 2021; 12,144 toneladas en 2020 y 12,064 toneladas en 2019 (MIDAGRI, 2023).

El precio (en soles) por kg de fruto de camu-camu obtenido en los fundos de producción agrícola de Ucayali, en 2021 fue de S/. 3.21, en 2020 fue de S/. 2.74 y en 2019 fue de S/. 2.27. En comparación, los precios en Loreto en esos mismos años fueron S/. 0.92 (2021), S/. 0.91 (2020) y S/. 0.91 (2019). Un factor también a resaltar es que en Loreto los agricultores en esos tres años obtuvieron mejor rendimiento (kg/ha) que los de Ucayali: 4,064 contra 2,138 kg/ha (2021); 4,031 contra 1,801 kg/ha (2020) y 4,004 contra 1,748 kg/ha (2019) (MIDAGRI, 2023).

El camu-camu en forma de pulpa congelada, con partida arancelaria 0811.10.10.00, se exportó en 2021 a diferentes países del mundo, siendo un total de 84,284 kg (79,986 kg hacia Japón), que representó US$ 335,000; En 2020 la cantidad total fue de 51,524 kg (50,594 kg hacia Japón) que representó US$ 205,000 y en 2019 la cantidad total fue de 39,423 kg (25,209 kg hacia Japón) que representó US$ 211,000 (Trade Map, 2023). Además de la pulpa congelada, las presentaciones industrializadas del camu-camu que son más demandadas internacionalmente son polvo y harina. En el mercado local peruano se comercializa principalmente como fruta fresca y polvo/harina (Estrada et al., 2022). Los principales mercados de exportación en el 2020 fueron Estados Unidos (47%), Unión Europea (17%), Japón (8%), Canadá (7%) y Australia (7%) con un valor total de US$ 4.7 millones, 71% más que el 2019 (US$2.7 millones) (MINCETUR, 2021).

Figura 1. Compuestos bioactivos del fruto del camu-camu con actividades beneficiosas para la salud humana.



Fuente: *Traducido* (García-Chacón et al., 2023)

2.3. Yuca (*Manihot esculenta* Crantz): Características, propiedades del almidón, modificación del almidón y producción en Ucayali.

2.3.1. Características botánicas.

Género: El género *Manihot* tiene más de 100 especies y muchas de ellas producen látex y ácido cianhídrico. Solamente *Manihot esculenta* tiene importancia económica (Suarez & Mederos, 2011, citado en Aguilar-Brenes et al. 2017). La división entre las yucas amargas y dulces está dada por el contenido de ácido cianhídrico (HCN). Las yucas amargas son las que tienen el mayor contenido de HCN (>50 mg/L), poseen un mayor rendimiento y una mejor calidad de almidón. Las dulces poseen bajas concentraciones de HCN y son las preferidas para el consumo humano (Aguilar-Brenes, et al., 2017).

Morfología: La planta es un arbusto que puede medir de 1,5 a 4,0 metros de altura, se caracteriza por la presencia de tallos semileñosos y ramas en su parte media y superior y las hojas están compuestas por 4 a 10 lóbulos, con pecíolos largos de 0,2 a 0,4 m, de color rojo, verde o púrpura uniforme o manchado (Aguilar-Brenes, et al., 2017). La yuca es una especie monoica, por lo que la planta produce flores masculinas y femeninas. Las raíces son fibrosas, unas son utilizadas por la planta para la absorción de nutrientes y las otras se engrosan para almacenamiento de carbohidratos (almidón) (Aguilar-Brenes, et al., 2017). Este último tipo de raíces, a las que se les denomina raíces tuberosas, son la parte aprovechable y pueden tener un tamaño aproximado de 1 m, con un peso de 1-8 kg cada una, de formas cilíndricas, cónicas, fusiformes e irregulares. El color de la pulpa puede ser blanco o amarillo (MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 1991 citado en Aguilar-Brenes et al. (2017).

2.3.2. Producción de yuca en el Perú.

En el Perú, según datos oficiales del MIDAGRI, 21 de las 25 regiones producen alguna variedad de yuca, pero los mayores productores en el país son Loreto, Amazonas, Junín, San Martín y Ucayali. En el año 2021 la producción nacional fue de 1,326,781 toneladas, de las cuales Loreto produjo

472,989; Amazonas 157,325; Junín 131,796; San Martín 105,271 y Ucayali 100,542. En el año 2020 la producción nacional fue de 1,343,010 toneladas, de las cuales Loreto produjo 453,458; Amazonas 189,848; Junín 126,875; Ucayali 102,947 y San Martín 97,711. En el año 2019 la producción nacional fue de 1,276,914 toneladas, de las cuales Loreto produjo 432,666; Amazonas 199,095; Junín 120,683; Ucayali 92,903 y San Martín 86,024 (MIDAGRI, 2023).

2.3.3. Almidón de yuca.

El almidón es un polisacárido producido en plantas como una reserva energética, es comúnmente extraído por molienda húmeda y filtración (Chisenga et al., 2019). Este polímero está constituido de dos moleculares principales, una molécula altamente ramificada, amilopectina, y una molécula lineal conocida como amilosa. En la mayoría de almidones nativos, la proporción de amilosa varía de 15-30% y de amilopectina de 70-75% (Taggart & Mitchell, 2009). La proporción, peso molecular y distribución del largo de cadena de amilosa y amilopectina influencian de forma decisiva en las propiedades fisicoquímicas del almidón y alimentos basados en almidón (Taggart & Mitchell, 2009).

El contenido de amilosa es la base de clasificar almidones de yuca en tres tipos: ceroso, normal/regular y alto en amilosa, cuando el contenido de amilosa es 0-15%, 20-35%, 40% a más, respectivamente (Tester et al., 2004). El rendimiento de extracción del almidón de yuca en base húmeda generalmente está reportado entre los rangos de 17.28% - 35.37% (Schmitz et al., 2017). El genotipo y condiciones ambientales han sido mencionados como factores de ejercer influencia en el rendimiento del almidón. Sin embargo, es el genotipo el que tiene un efecto significativo y dominante (Mtunguja et al., 2016).

Propiedades fisicoquímicas: El almidón de yuca tiene una apariencia blanca y un sabor neutro. Tiene una estructura molecular de amilosa y amilopectina, lo que le confiere una alta capacidad de gelificación y espesamiento. Es insoluble en agua fría y soluble en agua caliente (Ai & Jane, 2018).

Propiedades funcionales: El almidón de yuca tiene propiedades funcionales que lo hacen adecuado para su uso en una amplia variedad de productos alimentarios. Es un buen agente espesante, estabilizante, gelificante y agente de textura. También puede mejorar la retención de agua y la viscosidad de los alimentos (Ai & Jane, 2018).

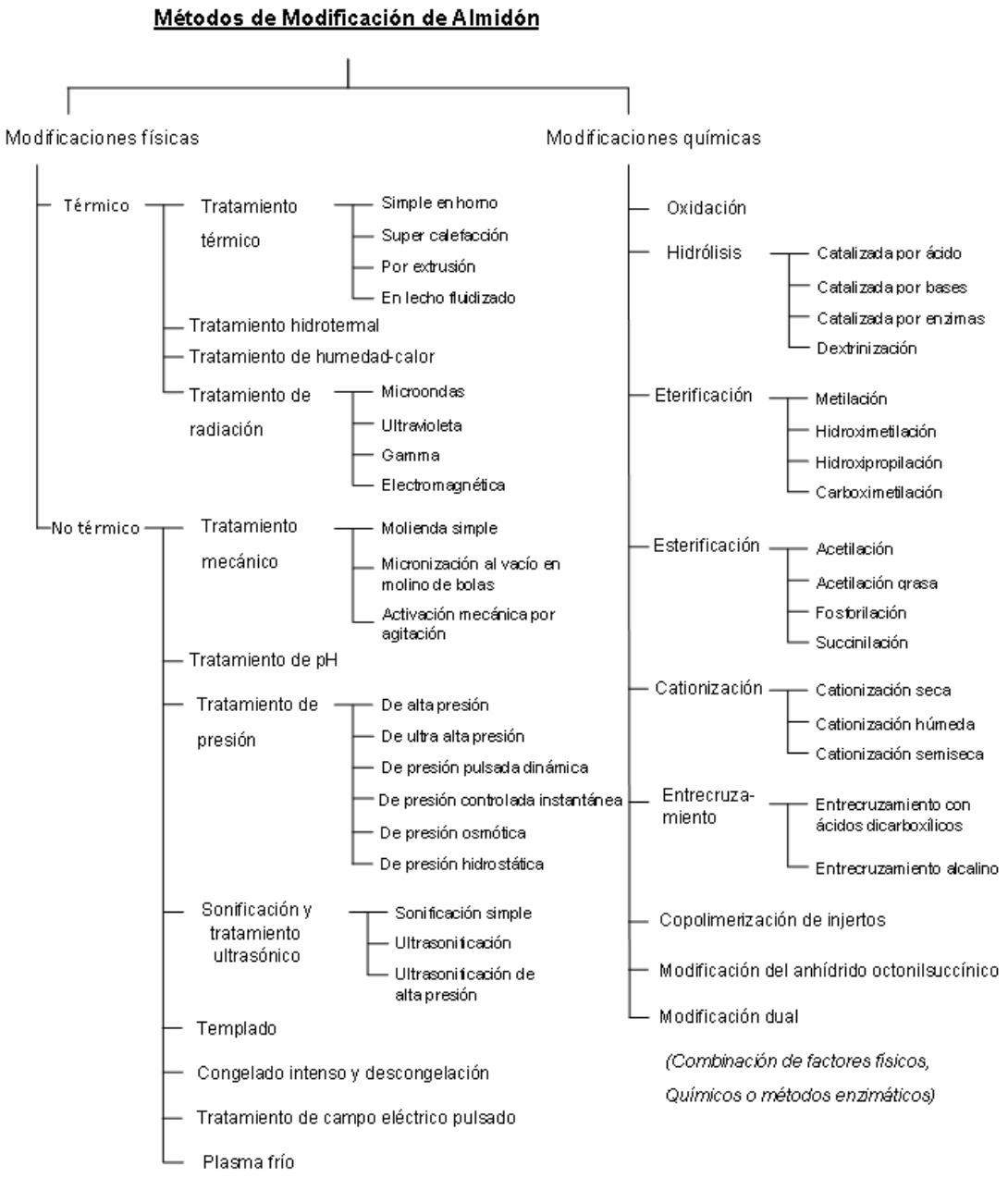
2.3.4. Modificación de almidón de yuca.

El almidón de yuca es un ingrediente importante en la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales y su versatilidad. Su modificación puede mejorar aún más sus propiedades funcionales y ampliar su gama de aplicaciones en la industria alimentaria. Para ser más específico, la modificación del almidón de yuca puede incluir lo siguiente:

Modificación química: El almidón de yuca puede ser modificado mediante la introducción de grupos químicos en su estructura molecular, como grupos carboxilo, hidroxilo, éster y éter. Esta modificación puede mejorar la solubilidad, la estabilidad y la viscosidad del almidón de yuca. Algunos ejemplos de almidones de yuca modificados químicamente son el almidón oxidado, el almidón acetilado, el almidón fosfatado y el almidón hidroxipropilado (Nawaz et al., 2020).

Modificación física: El almidón de yuca también se puede modificar mediante la aplicación de calor, presión o cizallamiento. La modificación física puede mejorar la capacidad de gelificación y la resistencia a la degradación del almidón de yuca. Algunos ejemplos de almidones de yuca modificados físicamente son el almidón pregelatinizado, el almidón termoplástico y el almidón expandido (BeMiller J. N., 2018).

Figura 2. Métodos de modificaciones químicas y físicas del almidón.



Fuente: *Traducido* (Nawaz et al., 2020).

2.4. Microencapsulación de compuestos bioactivos.

La microencapsulación es un proceso en el que pequeñas partículas sólidas, gotitas de líquido o moléculas de gas se encierran dentro de una capa de revestimiento/pared o se incrustan en una matriz homogénea o heterogénea. La microencapsulación protege el ingrediente activo encerrado del ambiente externo y lo libera, al recibir un cierto estímulo, en un punto en el que se necesitan sus propiedades funcionales. (Abbas et al., 2012).

Teóricamente, diámetros típicos de las microcápsulas están en el rango de 0.01 – 1000 µm y el grosor del material de pared en el rango de 0.5-150 µm (Cheng et al., 2009). La tecnología de microencapsulación ha probado ser de una excelente utilidad para proteger los componentes alimentarios, que tienen alto valor funcional, sensibles a la degradación. Estos incluyen sabores, vitaminas, enzimas, acidulantes, colores, microorganismos y minerales (Abbas et al., 2012).

Las técnicas de microencapsulación se dividen en tres clases: métodos químicos, físicos y fisicoquímicos. Los métodos químicos incluyen la polimerización in situ y el uso de liposomas; Los métodos físicos incluyen el secado por pulverización y el recubrimiento en lecho fluidizado, y los métodos físico-químicos incluyen la coacervación y la encapsulación sol-gel. Las microcápsulas producidas por cada método son diferentes (Peanparkdee et al., 2016).

La elección del material de pared para realizar la microencapsulación es vital a dado que influye en la eficacia y la fiabilidad de la microcápsula. El material de pared perfecto debe tener las siguientes cualidades: no receptivo con el centro; capacidad para sellar y mantener el material del núcleo; capacidad para brindar protección contra condiciones adversas; tener conveniencia sostenible y practicidad financiera (Ayoub et al., 2019). Existen diversos materiales de pared, estos pueden ser clasificados según el tipo de material de composición, de la siguiente forma:

Cuadro 4. Materiales de pared típicos usados para microencapsulación.

Tipos de material de pared	Ejemplos
Natural	Gelatina, agar, goma, alginato de sodio, alginato de calcio, dextrano, grasas y ácidos grasos, almidón, quitosano, casamata, sacarosa y cera.
Semi-sintético	Acetato de celulosa, nitrato de celulosa, etilcelulosa e hidroxipropilcelulosa, metilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, sebo hidrogenado, alcohol miristílico, glicerilomon o dipalmitato, aceite de pascua hidrogenado, glicerilmono, di o triestearato y alcohol 12-hidroxiestearílico.
Sintético	Polímero y copolímero de acrílico.

Fuente: *Traducido* (Cheng et al., 2009).

2.4.1. Principales técnicas de microencapsulación.

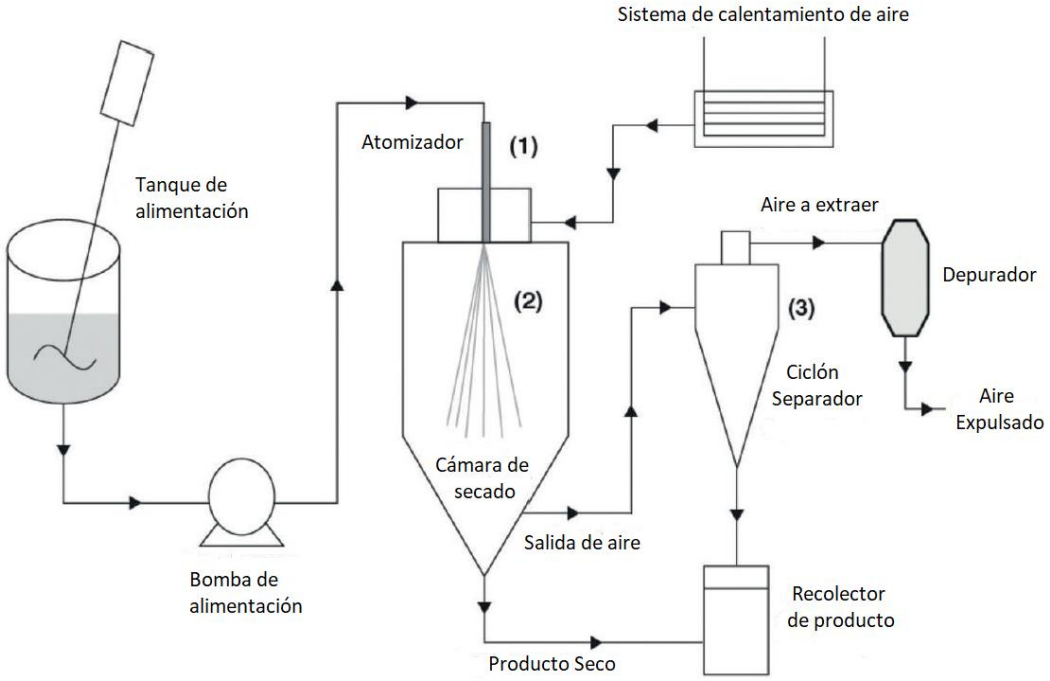
a. Extrusión: La extrusión es un proceso rápido, simple y económico; considerada como la técnica de encapsulación más antigua que se conoce. Este proceso consiste en formar una disolución entre un componente hidrocoloide y el componente de interés, para inyectarla a través de un orificio de boquilla con el objetivo de aumentar la presión y generar gotas. A escala de laboratorio se puede realizar con un instrumento básico como una jeringa o una pipeta (Díaz-Montes, Cerón-Montes & Vargas-León, 2023). A gran escala la producción de gotas puede lograrse con sistemas de boquillas múltiples, atomizador de disco giratorio o por técnicas de corte y propulsión a chorro (Sandoval-Peraza et al., 2016).

b. Emulsión: Es una técnica de microencapsulación más simple, debido a que una fase discontinua (mezcla de hidrocoloide con el componente de interés) se dispersa en una fase continua (lípido) hasta formar una emulsión (Díaz-Montes, Cerón-Montes & Vargas-León, 2023). Hay dos tipos de emulsiones: emulsiones agua-aceite o aceite-agua y emulsiones dobles agua-aceite-agua. Las capsulas formadas se pueden recuperar por decantación y aislarse con un deshidratado (Sandoval-Peraza et al., 2016). Esta técnica se puede realizar con un mezclado manual, sin embargo, el empleo de dispersores automáticos, mezcladores magnéticos o sonicadores optimizan el tiempo. La encapsulación por emulsión se realiza cuando se prefiere la estabilización de compuestos sobre la calidad, ya que no existe un control en la morfología, tamaño y rugosidad de las cápsulas (Díaz-Montes, Cerón-Montes & Vargas-León, 2023).

c. Liofilización: Este proceso se basa en la sublimación de una muestra congelada, en tres etapas continuas: congelación, secado primario o sublimación y secado secundario o desorción. Este proceso es adecuado para compuestos sensibles a las altas temperaturas como nutraceúticos e ingredientes alimentarios (Díaz-Montes, Cerón-Montes & Vargas-León, 2023).

d. Secado por aspersión: El secado por aspersión es el método más común disponible a escala comercial para la encapsulación de ingredientes alimentarios. Esta tecnología está desarrollada, es económica, sencilla, continua y fácil de ampliar (Abbas et al., 2012). El mecanismo se basa en la eliminación de la humedad utilizando para ello una atmósfera caliente a la que se somete el producto alimenticio. El proceso puede describirse mediante tres fases principales: atomización (1), conversión de gota a partícula (2) y recolección de partículas (3) (Santos et al., 2018).

Figura 3. Representación esquemática de un mecanismo de secado por aspersión. Los números en paréntesis son las tres principales fases del proceso.



Fuente: *Traducido* (Santos et al., 2018).

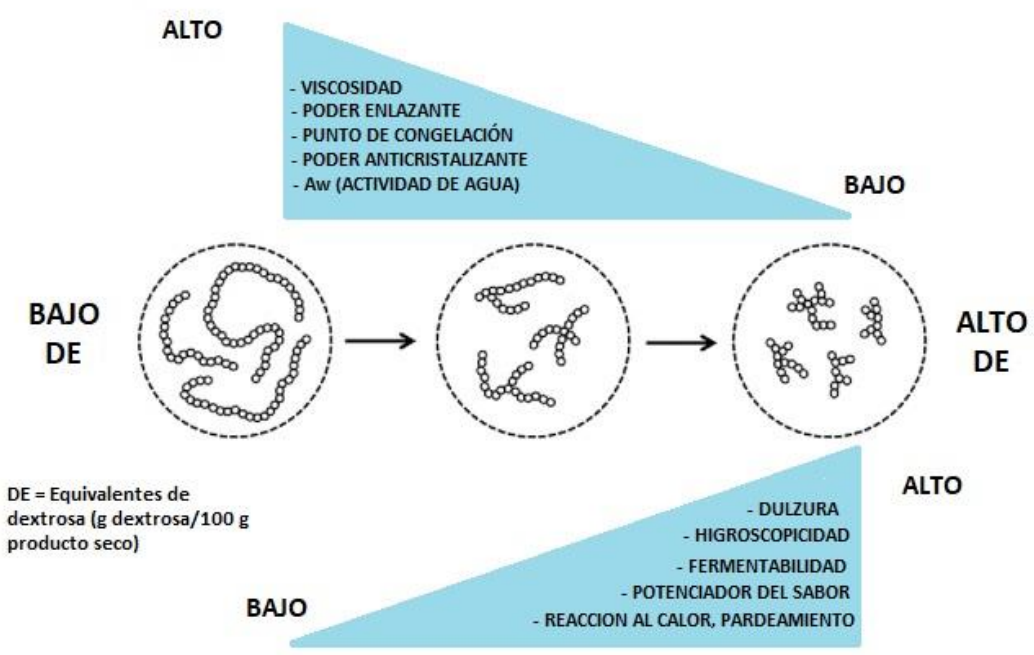
2.4.2. Microencapsulación utilizando almidón modificado como material de pared.

Más de un tipo de los almidones modificados tiene potencial para ejercer acción de agente de microencapsulación, pues han adquirido otra funcionalidad o comportamiento mejorado: solubilidad con agua fría, viscosidad más estable con las variaciones de temperatura, etc. (Starch Europe, 2021).

Las propiedades fisicoquímicas de almidones modificados (viscosidad, poder enlazante, actividad de agua, higroscopicidad, pardeamiento, entre otros) están intrínsecamente ligadas a su valor de equivalente de dextrosa (dextrose equivalent o DE, en inglés), cuyo valor varía de 0 a 100 y refiere al grado de hidrólisis del almidón (Hofman et al., 2016). El equivalente de dextrosa corresponde a la cantidad de azucares reductores en gramos por cada 100 g de producto seco. Por ejemplo, por definición la maltodextrina es un producto seco

de hidrolisis de almidón cuyo DE es mayor a 3 y menor o igual a 20 (3< Maldextrina DE ≤20). Por encima de 20 se denominan jarabes secos de glucosa (Hofman et al., 2016).

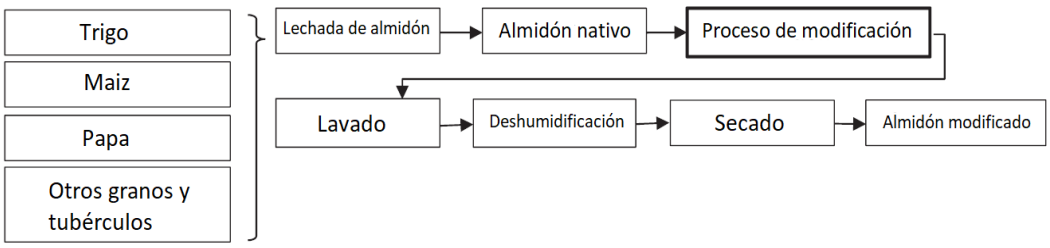
Figura 4. Propiedades fisicoquímicas de almidones modificados relacionadas al nivel de equivalencia de dextrosa.



Fuente: *Traducido* (Hofman et al., 2016).

El proceso de secado por aspersión para la encapsulación comienza con la formación de disolución en la que los almidones modificados se disuelven en agua junto con otros vehículos para formar una solución. Aunque los almidones modificados solubles en agua fría suelen ser fáciles de hidratar, la adición lenta en agua seguida de una agitación suave y, opcionalmente, el calentamiento de la solución a aproximadamente 43 ° C, ayuda a acelerar la disolución y evitar la formación de espuma (Jin et al., 2018). El proceso de modificación de almidón sigue un esquema general que es representado en el siguiente esquema:

Figura 5. Proceso general de modificación de almidón.



Fuente: *Traducido* (Chen et al., 2018).

2.4.3. Evaluación de la calidad de productos obtenidos por microencapsulación.

Tamaño y distribución de partículas: La distribución de tamaño de partículas es un factor importante que afecta la estabilidad y la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos. La microscopía electrónica de barrido y la dispersión de luz láser son técnicas comunes utilizadas para medir el tamaño y la distribución de partículas (Choudhury et al., 2021).

Rendimiento de microencapsulación: El rendimiento de microencapsulación se refiere a la cantidad de compuestos bioactivos encapsulados en relación con la cantidad total utilizada, se realiza mediante el análisis químico de la cantidad de compuestos bioactivos encapsulados en relación con la cantidad total utilizada, a través de métodos instrumentales como HPLC o espectroscopía (Choudhury et al., 2021).

Estabilidad del producto: La estabilidad del producto es importante para garantizar que el compuesto bioactivo se mantenga protegido durante el almacenamiento y la manipulación. Las técnicas comunes utilizadas para evaluar la estabilidad incluyen el análisis de la actividad antioxidante, la oxidación lipídica y la liberación del compuesto bioactivo (Choudhury et al., 2021).

Propiedades fisicoquímicas: Las propiedades fisicoquímicas, como la solubilidad, reactividad a la luz, estabilidad al calor y la capacidad de retener

agua, son importantes para la aplicación del producto en la formulación de alimentos. Las técnicas comunes utilizadas para evaluar las propiedades fisicoquímicas incluyen la espectroscopía infrarroja y la calorimetría diferencial de barrido (Choudhury et al., 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

La tesis se desarrolló enteramente en la provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. La metodología para los análisis es basada en la información bibliográfica existente y/o métodos estandarizados como los de la AOAC. A continuación, los detalles:

3.1. Lugar de ejecución.

3.1.1. Recolección de muestras.

Tubérculos frescos variedad *señorita* del caserío Agua Dulce, distrito de Campo Verde, Coronel Portillo, Ucayali (Coordenadas: Latitud -8.536475, Longitud -74.770541) serán recolectados en envases plásticos y transportados a los laboratorios especializados de la UNU. De igual manera, frutos maduros de camu camu serán obtenidos del caserío Pucallpillo, Coronel Portillo, Ucayali (Coordenadas: Latitud -8.448934, Longitud -74.503260).

Figura 6. Mapa de Caserío Agua Dulce, Distrito de Campo Verde, Ucayali.



Fuente: Imagen Satelital (ARCGIS, 2023).

Figura 7. Mapa de Caserío Pucallpillo, Distrito de Manantay, Ucayali.



Fuente: Imagen Satelital (Google, 2023).

3.1.2. Microencapsulación y análisis.

El posterior trabajo que incluye la etapa de extracción de almidón de yuca, modificación del almidón de yuca, microencapsulación de pulpa de camu camu, y análisis de las muestras obtenidas, se desarrolló íntegramente en el Taller de Tecnología e Industrias Lácteas perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en el Km. 6 de la Carretera Federico Basadre, ciudad de Pucallpa, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, 8°23'59.4" de latitud sur, 74°34'33.3" de latitud oeste.

3.2. Materia prima.

La materia prima utilizada fue pulpa camu-camu (*Myriciaria dubia* HBK Mc Vaugh) y tubérculos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). El camu-camu fue procedente del caserio de Pucallpillo, distrito de, Provincia de Coronel Portillo. La yuca se recolectó del caserío Agua Dulce, Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo.

3.3. Materiales, equipos, instrumentos y reactivos de laboratorio.

1. Equipos

- Peachimetro
- Centrífuga
- Homogenizador VORTEX
- Agitador magnético
- Balanza analítica
- Micropipetas de 100 y 1000 microlitros
- Estufa con recirculación de aire
- Desecador
- Refrigerador/congelador
- Termómetro digital

2. Instrumentos

- Atomizador de escala de Laboratorio
- Espectrofotómetro UV

3. Reactivos químicos

- 2,6 dicloroindofenol
- Ácido acético glacial
- Ácido ascórbico
- Ácido clorhídrico
- Ácido gálico
- Ácido metafosfórico
- Agua destilada
- Alcohol etílico
- Maltodextrina
- Bicarbonato de sodio
- Carbonato de sodio
- Reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu

4. Materiales de laboratorio

- Matraces (50, 100, 250 ml)
- Fiolas de 50 y 100 mL
- Vasos de ppt (25, 50, 100 ml)
- Botellas ambar de vidrio
- Papel filtro Whatman N° 1
- Cajas plásticas 20 L a más
- Caja termoasilante (cooler)
- Rallador
- Tela tocuyo
- Tamiz malla 70
- Buretra de 25 mL
- Soporte universal
- Mortero de porcelana
- Bolsas con cierre hermético
- Rociador manual de agua

5. Registro de información

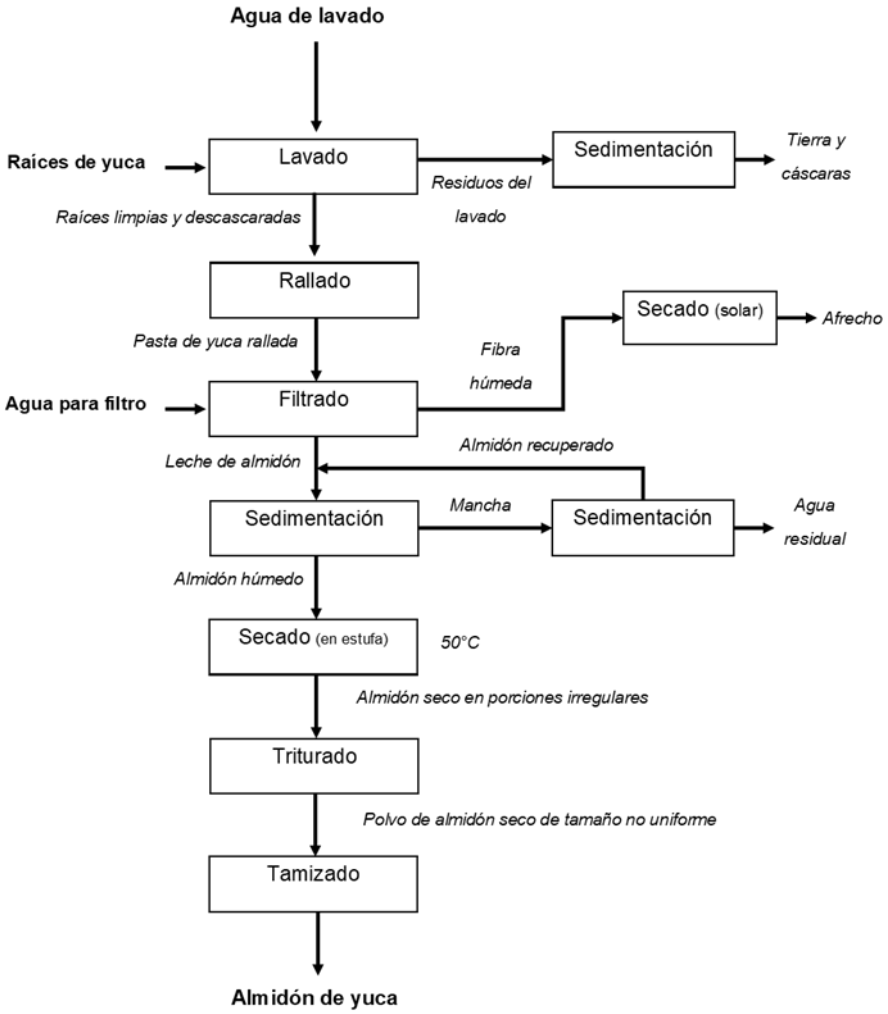
- Cuaderno de apuntes
- Etiquetas
- Post-it
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Archivador

3.4. Metodología experimental.

3.4.1. Preparación de almidón de yuca.

Lo que se buscó obtener es almidón con las características siguientes: humedad menor a 10% y diámetro máximo de partícula de 0.5 mm. Fotos del proceso de elaboración de almidón de yuca pueden visualizarse en el Anexo 6.

Figura 8. Proceso de elaboración de almidón de yuca.



Fuente: Pérez et al. (2017).

3.4.2. Modificación del almidón de yuca por el método de dextrinización.

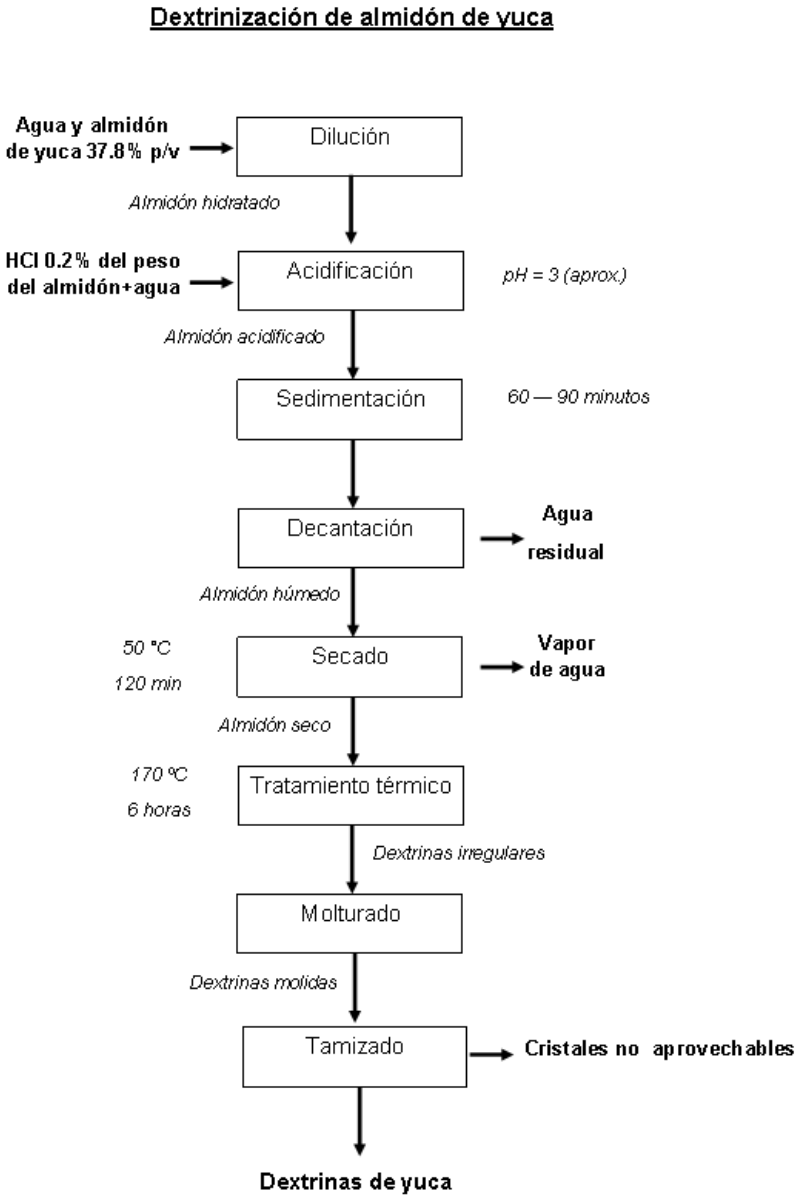
Se realizó esta modificación química, denominada *Dextrinización de almidón*, que es un tipo especial de hidrólisis ácida, y de acuerdo a la patente española de Petrus, J., Wilhelmus, R., & Maria, A. de 1999, comprende someter al almidón nativo a temperaturas entre un rango de 150-170°C, entre 6-18 horas, en un medio ácido que funcione como catalizador. Si bien la patente no indica específicos respecto a relación peso/volumen, tiempos, entre otros, sí ha habido investigadores que han logrado establecer de forma explícita esto (Velasco et al., 2008). El procedimiento detallado se indica a continuación:

- El ácido (HCl al 37%) se agregó en la operación de sedimentado de almidón, durante el proceso de extracción
- La cantidad referencial a usar de ácido es 0.2% del peso húmedo del almidón.
- Antes de agregar el ácido, el almidón debió estar diluido en agua a una concentración de 37.8% p/v.
- El pH debe descender a 3, o aproximarse lo más que se pueda a 3. Una vez se logró esto, se separó el agua del almidón por decantación.
- Si no se ha podido separar completamente el agua de la anterior operación, se recomienda un secado de noventa minutos a 50-55 ºC.
- Posteriormente se llevó el almidón a estufa para el tratamiento térmico a 170 ºC por 4-5 horas.
- Finalmente, el almidón fue molturado en un mortero de porcelana y tamizado a través de un tamiz malla nº 70 (0.2 mm de ancho). Esta operación debe realizarse sin dejar mucho tiempo de reposo al finalizar el tratamiento térmico, de otra manera, se forman agregados cristalizados que reducen el rendimiento de obtención del almidón modificado.

De forma alternativa, el proceso de modificación también se puede hacer después de obtener el almidón nativo seco, para esto, el almidón nativo

se debe rehidratar con 70% de agua respecto a su peso inicial, mezclar apropiadamente hasta que el almidón tome forma viscosa, sobre este nuevo peso se debe agregar agua hasta tener 37.8% p/v y continuar el anterior proceso ya detallado. Fotografías de la modificación pueden verse en el Anexo 6.

Figura 9. Proceso de dextrinización de almidón de yuca.



Fuente: Basado en Patente Española nº ES2207304T3 (1999) y Velasco et al. (2008).

3.4.3. Preparación de soluciones de material de pared.

Se prepararon tres soluciones por triplicado de pulpa de camu-camu con almidón modificado de yuca al 10, 12.5 y 15% (p/v), que se llevó a constante agitación a 42°C durante 20 minutos a 650 rpm.

3.4.4. Secado por aspersión de soluciones de camu-camu con almidón modificado de yuca.

Los nueve ensayos se realizaron en el secador por aspersión de escala laboratorio Lonza Hento 1500. En los mencionados ensayos, al usar el almidón modificado de yuca como material de pared, no existió inconveniente alguno, por ejemplo, generarse obstrucciones en la aguja/pin de inyección o un excedente grande de solidos no atomizados. Los parámetros que se mantuvieron constantes fueron los siguientes: 3 mm de diámetro de aguja inyectora, 80 °C de temperatura de aire de salida, 37 mL/min de flujo de carga. El único parámetro variable del panel de control fue la temperatura de aire de entrada (150, 170 y 190 ºC). Las muestras fueron recogidas en botellas ámbar de vidrio y estas a su vez almacenadas en desecadores hasta realizar los análisis correspondientes.

3.4.5. Análisis de microcápsulas.

a. Contenido de ácido ascórbico.

Se usó el método oficial de análisis para vitamina C por titulación con 2,6-dicloroindofenol (o también llamado 2,6-diclorofenolindofenol o 2,6-DCPIP por sus siglas en inglés), Método AOAC 967.21 (AOAC, 1990), cuyos pasos están completamente detallados en el capítulo 15 del libro *Food Analysis Laboratory Manual* (Nielsen, 2017).

- El primer paso fue obtener un extracto del polvo utilizando un ácido débil como el ácido metafosforico-ácido acético y con el

mismo reactivo generar una solución muestra/solvente con un factor de 1:10.

- Luego se prepara una solución tinte de 2,6 dicloroindofenol como titulante, disolviendo 42 mg de bicarbonato de sodio en 50 mL de agua destilada, luego añadiendo 50 mg de 2,6 dicloroindofenol, diluyendo después hasta 200 mL con agua destilada.
- Se prepara también una solución de ácido metafosfórico-ácido acético, agregando a 100 mL de agua destilada 20 mL de ácido acético, para luego disolver 7.5 g de ácido metafosfórico, la mezcla se diluye hasta 250 mL.
- También, inmediatamente antes de su uso, se prepara una solución de ácido ascórbico de 1 mg/mL de concentración (diluido con la solución ácido acético-ácido metafosfórico) que se usará como estándar.
- Titulación para estandarizar el tinte: 5 mL de solución ácido acético-ácido metafosfórico mezclados con 2 mL de solución ácido ascórbico y se valora contra la solución tinte y se registra el gasto cuando ocurre un cambio de coloración a un rosado ligero.
- Titulación para obtener un blanco: 7 mL de solución ácido acético-ácido metafosfórico mezclados con agua destilada, cuyo volumen será igual al gasto promedio de tinte usado en la estandarización de tinte, esta mezcla se valora contra la solución tinte y se registra el gasto al virar al color rosa ligero (el gasto es muy pequeño en este paso).
- Titulación de muestras: 5 mL de solución ácido acético-ácido metafosfórico mezclados con 2 mL de muestra. La muestra atomizada fue diluida por un factor de 80 con agua destilada. Se valora contra la solución tinte y se registra el gasto cuando ocurre un cambio de coloración a un rosado ligero.

- CÁLCULOS: el contenido de ácido ascórbico en la muestra en mg/mL, usando la ecuación a continuación y el volumen de valoración para cada una de las repeticiones.

$$mg\ AA/\ g\ DW\ \ = (X - B)x(F/E)x(V/Y)$$

Donde:

X= Volumen de valoración – cantidad de 2,6 DCPIP usado para muestra (mL)

B= Volumen de valoración para blanco (mL)

F = mg ácido ascórbico equivalente a 1 mL de solución estándar de 2,6 DCPIP – la cantidad de mg de AA que se neutraliza con 1 mL del tinte 2,6 DCPIP (cuando se valora el estándar)

E = número de gramos, mililitros, tabletas, etc. tomados de la muestra inicial (jugo, pulpa, polvo, tableta de vitaminas, entre otros) – se usó un gramo

V=Volumen inicial de solución de ensayo (mL) – se elaboró una solución inicial de 10 mL ácido metafosfórico-ácido acético con 1 gramo de muestra.

Y=Volumen de muestra de alícuota valorada (mL) – se usó 2 mL

b. Contenido de fenoles totales.

Se utilizó el método reductor de Folin-Ciocalteu para calcular el contenido de fenoles totales. El siguiente procedimiento es tomado de la investigación de Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós (1999) citado en Fujita, y otros (2017). Se utilizó una alícuota de 0.25 mL de la muestra y esta se mezcló con 0.25 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu 2N y 2 mL de agua destilada. Después de 3 minutos a temperatura ambiente, 0.25 mL de una solución saturada de carbonato de sodio (Na2CO3) se añadió en baño maría a 37ºC por 30 min. La absorbancia se midió a 765 nm usando un espectrofotómetro. El ácido gálico se usó como estándar de referencia y los resultados quedaron expresados como mg de equivalentes de ácido gálico Finalmente los polifenoles totales se calculan sustrayendo el valor de la capacidad reductora de Folin-Ciocalteu debido al ácido ascórbico, usando una curva analítica.

Ya que este método se basa en compuestos que tienen la capacidad de reducir el reactivo de Folin-Ciocalteu, y en el camu-camu el ácido ascórbico y los polifenoles tienen esa capacidad, se debe corregir los cálculos restando la influencia del ácido ascórbico. Estos son los pasos para obtener ese valor corregido:

1. Realizar el ensayo de Folin-ciocalteu sobre las muestras atomizadas, por triplicado.
2. Calcular la capacidad reductora de Folin-Ciocalteu en las muestras a través de una curva analítica que use al ácido gálico como estándar de referencia, anotar los valores medios.
3. Realizar el ensayo de Folin-Ciocalteu, por triplicado, sobre una muestra con concentración conocida de ácido ascórbico. La concentración de esta muestra de ácido ascórbico debe ser aproximadamente la misma que la de las muestras atomizadas (valor medio).
4. Calcular la capacidad reductora de Folin-Ciocalteu debido al ácido ascórbico a través de la curva analítica que use al ácido gálico como estándar de referencia, anotar los valores medios.
5. Restar la capacidad reductora de Folin-Ciocalteu debido al acido ascórbico de los valores obtenidos sobre las muestras atomizadas para obtener el valor corregido de la capacidad reductora de Folin-Ciocalteu. Este será el valor final de fenoles totales.

3.5. Variables en estudio.

Variables independientes (factores):

- **Temperatura de aire de entrada del atomizador (T)**: Es la temperatura en grados celcius con la que el aire ingresa al jet de secado (150-190 ºC), que genera la pulverización de la solución alimentada.
- **Concentración de almidón modificado de yuca (C)**: Es la cantidad de agente de microencapsulación en solución, fijada en % p/v (10-15%)

Variables dependientes (respuestas):

- **Contenido de ácido ascórbico de las muestras atomizadas (AA)**: Es la cantidad de ácido ascórbico contenido en el total del producto seco expresado en mg/g materia seca.
- **Contenido de fenoles totales de las muestras atomizadas (FT)**: Es la cantidad de fenoles totales contenido en el total del producto seco expresado en mg ácido gálico equivalente/g materia seca.
- **Contenido de humedad de las muestras atomizadas (%H)**: Es una característica muy importante del producto final, y es deseable que sea en una baja proporción, pues afecta a la calidad de este. Expresado en porcentaje.

3.6. Técnicas de muestreo.

La técnica usada fue el muestreo sistemático. La primera muestra fue tomada al azar y luego cada n incrementos. El muestreo de ambas materias primas, camu-camu y yuca, se realizó de acuerdo al siguiente protocolo:

- Cálculo del tamaño de la población N

Para el camu-camu: Es el número de frutos maduros provenientes de una cosecha o producción en planta alimenticia. En esta investigación la población queda definida como frutos maduros de camu-camu provenientes del Caserío Pucallpillo del distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. Este valor N se puede aproximar multiplicando el número de arbustos por el número promedio de frutos maduros por arbusto de camu-camu.

Para la yuca: Es el número de tubérculos provenientes de una cosecha. En esta investigación la población queda definida como tubérculos de yuca, variedad señorita, cosechados en el Caserío Agua Dulce del distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. Este valor N se puede aproximar multiplicando el número de arbustos de yuca por el número promedio de tubérculos por arbusto de yuca.

- Determinación del tamaño de la muestra n. Se utilizó la siguiente fórmula (siendo la población finita):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{\left(e^2 \times (N-1)\right) + (Z^2 \times p \times q)}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra.
Z: valor de la distribución normal estándar correspondiente al nivel de confianza deseado (por ejemplo, Z = 1.96 para un nivel de confianza del 95%).
p: proporción esperada de la población que presenta la característica de interés.
q: proporción esperada de la población que no presenta la característica de interés = 1 - p
N: tamaño de la población
e: margen de error deseado expresado como una proporción (por ejemplo, 0.05 para un margen de error del 5%)

En el caso del valor *p*, para el camu-camu estaría definido como los frutos maduros de camu-camu cuyo estado físico es aplastado o similar. Para la yuca estuvo definido como tubérculos de yuca cuyo estado físico es pequeño o quebrado.

- Cálculo del intervalo de muestreo *k*, que se define como el número de frutos de camu-camu/tubérculos de yuca que se saltan entre cada muestra. El intervalo de muestreo se calcula dividiendo el tamaño de la población (N) entre el tamaño de la muestra deseada (n): k = N/n. Si el cociente resulta con decimales se redondea al entero superior.

- Seleccionar al azar un número entre mínimo y máximo que comprende el intervalo *k*. Por ejemplo, supongamos que el intervalo es 6, se debe seleccionar un número entre 1 y 6.

- Tomar la primera muestra en el número seleccionado en la instrucción anterior, por ejemplo, el número 3. Luego, tomar muestras adicionales a intervalos de 6, es decir, tomar las muestras en los frutos 9, 15, 21, y así sucesivamente, hasta obtener el total de la muestra.

3.7. Diseño experimental.

Se usó un diseño factorial acoplado con la metodología de superficie de respuesta para evaluar los efectos de Temperatura de aire de entrada (*T: 150 – 190 ºC*) y Concentración de almidón modificado de yuca (*C: 10 – 15%*), a tres diferentes niveles, dando un total de 9 ensayos, siendo las respuestas a medir cantidad de compuestos bioactivos (AA y FT) y humedad (%H) del producto seco obtenido. Todos los análisis fueron por triplicado y expresados como media ± desviación estándar. Además, con la ecuación matemática se estimaría valores de optimización aplicando la mencionada metodología de superficie de respuesta, apoyándonos en el software estadístico STATGRAPHICS 19.

Cuadro 5. Diseño experimental para la atomización de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Ensayos	*C (%)*	*T (°C)*	Almidón modificado de yuca (g)	Pulpa de camu-camu (g)
1	10	150	22.22	200
2	10	170	22.22	200
3	10	190	22.22	200
4	12.5	150	28.57	200
5	12.5	170	28.57	200
6	12.5	190	28.57	200
7	15	150	35.29	200
8	15	170	35.29	200
9	15	190	35.29	200
Control	Pulpa de camu-camu tamizada (malla nº 70)			

Nota: Se debe usar 10 kg de yuca, asumiendo 15% de rendimiento de extracción de almidón nativo, pues se necesita un mínimo de 1 kg de almidón para realizar la

modificación (el rendimiento es aprox. 55-60%) lo restante se tiene como reserva para contingencias.

Los rangos de concentración de almidón modificado de yuca (10-15%) y de temperatura de aire de entrada (150-190 °C) fueron elegidos debido a partir de ensayos preliminares para definir la región de operabilidad del proceso.

Las diferencias significativas entre medias fueron verificadas por Análisis de Varianza (ANVA), y la diferencias entre medias fueron analizadas por la prueba de Tukey cuando el P-valor esté debajo de 0.05. Los resultados por triplicado fueron analizados usando metodología de superficie de respuesta (Software Statgraphics 19).

Modelo matemático:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 T + \beta_{11} C^2 + \beta_{22} T^2 + \beta_{12} CT$$

Donde:

Y es la respuesta a medir;

C es la concentración de material de pared;

T es la temperatura de aire de entrada;

β_0 es la media;

β_1 y β_2 son coeficientes de regresión para términos lineales;

β_{11} y β_{22} son términos cuadráticos; β_{12} es el término de interacción

IV. RESULTADOS.

4.1. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de camu-camu.

El primer paso realizado en el laboratorio fue la caracterización de la materia prima que sería atomizada, es decir la pulpa de camu-camu. Se evaluaron tres componentes, humedad, pH y sólidos solubles, y se utilizaron los siguientes equipos: una estufa de laboratorio, un medidor de mesa de pH/mV resol 0.001 pH y refractómetro digital BRIX 0.0-85.0 BRIX, respectivamente.

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica de pulpa de camu-camu obtenida del caserío Pucallpillo, Distrito de Manantay, Ucayali

Componentes	Media ± desviación estándar
Humedad (%)	93.1 ± 0.25
pH	2.9 ± 0.05
Sólidos solubles (ºBrix)	6.9 ± 0.15

4.2. Modificación del almidón nativo de yuca y rendimiento de modificación.

Una vez aplicados los pasos de modificación descritos en la metodología, el almidón nativo cambió de color, de blanco a crema/amarillo claro, coincidiendo con lo esperado, es decir, se obtuvo las denominadas dextrinas amarillas (España Patente nº ES2207304T3, 1999).

Figura 10. Almidón modificado de yuca por método de dextrinización y almidón nativo de yuca.



El proceso de modificación de almidón arrojó un rendimiento de 59% respecto al almidón nativo utilizado una vez finalizado la molienda y refinado por tamiz, la otra parte del almidón son agregados cristalizados y no puede ser aprovechada. El almidón modificado de yuca presentó dificultad para logar su solubilización completa en agua a temperatura ambiente (25 °C), demostrando también alta viscosidad. Solamente al elevar la temperatura hasta 40-45 °C y en constante agitación por varios minutos (mínimo de 10 min.), es que se logró que el almidón modificado de yuca solubilizara de forma completa.

Se pudo observar un notorio cambio en la coloración del producto seco, perdió el color característico rosáceo y pasó a oscurecerse, 45 días después de haber estado almacenado a 20 ºC en botellas de vidrio color ámbar.

Figura 11. Dos muestras distintas de Camu-camu atomizado con almidón modificado de yuca como material de pared con 45 días de diferencia en su preparación.



4.3. Ensayos de atomización de pulpa de camu-camu utilizando el almidón modificado de yuca como material de pared y rendimiento de secado.

Cuadro 7. Ensayos de atomización de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Ensayos	*C (%)*	*T (°C)*	Almidón modificado de yuca (g)	Pulpa de camu-camu (g)	Pulpa de camu-camu atomizada (g)	Rendimiento de secado (%)
1	10	150	22.22	200	6.3	17.49%
2	10	170	22.22	200	6.56	18.21%
3	10	190	22.22	200	7.23	20.07%
4	12.5	150	28.57	200	6.16	14.54%
5	12.5	170	28.57	200	8.71	20.56%
6	12.5	190	28.57	200	7.98	18.83%
7	15	150	35.29	200	8.39	17.09%
8	15	170	35.29	200	9.91	20.19%
9	15	190	35.29	200	9.12	18.58%

Nota: Para el cálculo del ítem "Rendimiento de secado (%)" se usó el valor de sólidos solubles de la pulpa previamente determinado (6.9 ºBrix).

4.4. Determinación de humedad de las muestras atomizadas.

La humedad promedio de las muestras más el control fueron evaluadas utilizando una estufa con recirculación de aire a 110 °C hasta encontrar peso constante, Método AOAC 964.22 (AOAC, 1990).

Cuadro 8. Determinación de humedad de muestras de pulpa de camu-camu atomizadas utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Ensayos	% Humedad
1: 10% -150 ºC	5.23 ± 0.3
2: 10% - 170 ºC	4.57 ± 0.2
3: 10% - 190 ºC	3.40 ± 0.4
4: 12.5% - 150 ºC	5.02 ± 0.4
5: 12.5% - 170 ºC	4.63 ± 0.6
6: 12.5% - 190 ºC	3.13 ± 0.5
7: 15% - 150 ºC	5.19 ± 0.5
8: 15% - 170 ºC	4.62 ± 0.6
9: 15% - 190 ºC	3.04 ± 0.4

El análisis de varianza (ANVA), detallado en Anexo 4, indica que solo el factor temperatura presenta diferencias significativas ($p<0.05$) sobre la humedad, teniendo un p-valor = 0.0154. Además, el coeficiente de determinación R^2 = 0.993909, lo cual indica que el 99.39% de la variación de los valores del contenido de humedad son explicados por efecto de las variaciones de concentración y temperatura, mientras que el 0.61% es explicado por efecto de otros factores.

La prueba de Tukey (ver Anexo 5) indica que en los tres rangos: 150-170 ºC, 170-190 ºC y 150-190 ºC las medias presentan diferencias significativas ($p<0.05$), estando la diferencia más grande en el rango de 150-190 ºC, en favor de las muestras obtenidas a 190º C, con una diferencia promedio de 1.96% en el contenido de humedad.

4.5. Contenido de compuestos bioactivos de las muestras atomizadas.

4.5.1. Contenido de ácido ascórbico.

Cuadro 9. Determinación de contenido de ácido ascórbico (AA) por método de valoración con 2,6 DCPIP en extracto de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Ensayos	Volumen de valoración con 2,6 DCPIP en mL (X)	BLANCO (B) en mL	Contenido de AA (mg/ g MS)
1	7.93 ± 0.12	0.10	13.59 ± 0.20
2	8.13 ± 0.12	0.10	14.00 ± 0.20
3	8.43 ± 0.12	0.10	14.52 ± 0.20
4	9.87 ± 0.12	0.10	19.60 ± 0.23
5	10.37 ± 0.12	0.10	20.60 ± 0.31
6	10.33 ± 0.12	0.10	20.54 ± 0.23
7	12.70 ± 0.17	0.10	29.80 ± 0.41
8	13.30 ± 0.17	0.20	31.10 ± 0.41
9	12.97 ± 0.06	0.10	30.43 ± 0.14
ESTANDAR (Std)	15.30 ± 0.12	0.20	-
PULPA (Control)	17.17 ± 0.29	0.20	160.52 ± 2.73

NOTA: La cantidad de almidón modificado que componía la matriz del producto seco fue substraída de los cálculos para cada muestra. El resultado de la pulpa fue convertido a unidades materia seca (MS).

Los datos del anterior cuadro nos permiten calcular la eficiencia de microencapsulación de ácido ascórbico a través de la siguiente fórmula:

$$E\ (\%) = \frac{AA\ en\ microcápsulas\ (mg\ AA/g\ DW\ )}{160.52\ mg\ AA/\ g\ M.S.} x100$$

Cuadro 10. Eficiencia de microencapsulación de ácido ascórbico en muestras atomizadas de pulpa de camu-camu utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

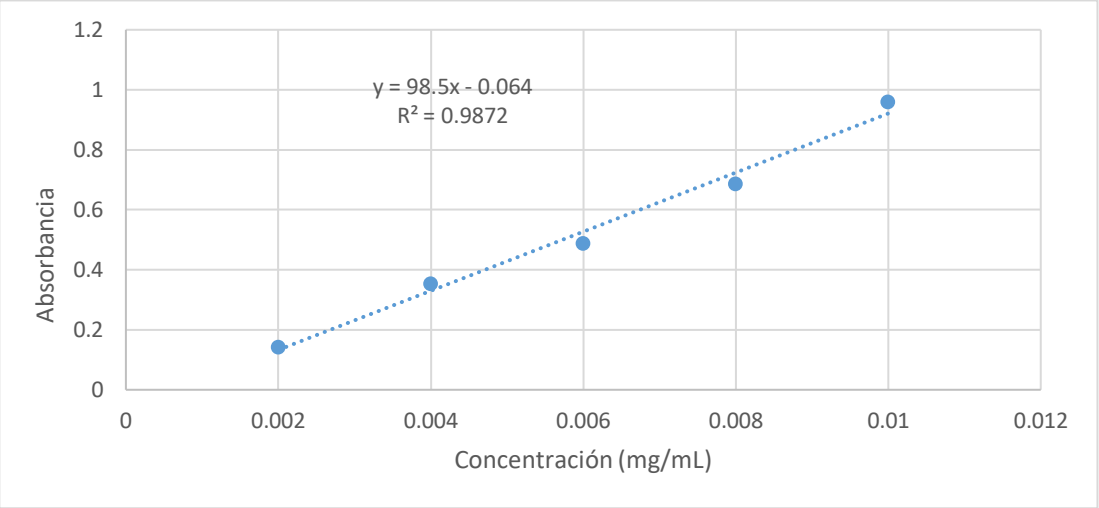
Ensayos	Eficiencia de microencapsulación (%)
1: 10% -150 ºC	8.50%
2: 10% - 170 ºC	8.72%
3: 10% - 190 ºC	9.05%
4: 12.5% - 150 ºC	12.21%
5: 12.5% - 170 ºC	12.84%
6: 12.5% - 190 ºC	12.79%
7: 15% - 150 ºC	18.57%
8: 15% - 170 ºC	19.38%
9: 15% - 190 ºC	18.96%

El análisis de varianza (ANVA), detallado en el Anexo 1, indica que solo el factor concentración presenta diferencias significativas ($p<0.05$) respecto al contenido de ácido ascórbico, teniendo un p-valor = 0.0327. Además, el coeficiente de determinación R^2 = 0.9990, lo cual indica que el 99.90% de la variación de los valores del contenido de ácido ascórbico son explicados por efecto de las variaciones de concentración y temperatura, mientras que el 0.10% es explicado por efecto de otros factores.

La prueba de Tukey (ver Anexo 2) indica que en los tres rangos: 10-12.5 %, 10-15 % y 12.5-15% las medias presentan diferencias significativas ($p<0.05$), estando la diferencia más grande en el rango de 10-15%, en favor de las muestras obtenidas a 15% de concentración, con una diferencia promedio de 16.3867 mg/g MS en el contenido de ácido ascórbico.

4.5.2. Contenido de fenoles totales.

Figura 12. Curva de estándar de ácido gálico



El coeficiente de regresión lineal (R^2) tiene un valor de 0.9872, muy cercano a 1, lo que nos otorga una gran fiabilidad para estimar el contenido de fenoles totales en las muestras.

Cuadro 11. Contenido de fenoles totales (FT) por el método de Folin-Ciocalteu en muestras de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca como material de pared.

Ensayos	Absorbancia	FT en extracto (mg AGE/mL)	FT por g polvo atomizado (mg AGE/g atomizado)	FT por g polvo camu-camu (mg AGE/g MS)
1	0.683	0.076	4.550	11.97 ± 0.23
2	0.766	0.084	5.054	13.30 ± 0.27
3	0.766	0.082	4.897	12.89 ± 0.15
4	0.748	0.082	4.948	14.99 ± 0.21
5	0.753	0.083	4.977	15.08 ± 0.16
6	0.438	0.051	6.116	18.53 ± 0.32
7	0.729	0.080	4.828	17.24 ± 0.35
8	0.783	0.086	5.159	18.43 ± 0.25
9	0.743	0.082	4.918	17.56 ± 0.14
PULPA	0.755	0.083	6.649*	94.99 ± 0.82

Nota: La cantidad de almidón modificado que componía la matriz del producto seco fue substraída de los cálculos para cada muestra. El (*) refiere a las unidades de la pulpa, que en este caso son mg AGE/g pulpa fresca, que luego se convierte a unidades de materia seca.

Los datos del anterior cuadro nos permiten calcular la eficiencia de microencapsulación de ácido ascórbico a través de la siguiente fórmula:

$$E\ (\%) = \frac{FT\ en\ microcápsulas\ (mg\ EAG/g\ MS\ )}{94.99\ mg\ AGE/\ g\ MS} x100$$

Cuadro 12. Eficiencia de microencapsulación de fenoles totales (FT) de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca

Ensayos	Eficiencia de microencapsulación (%)
1: 10% -150 ºC	12.61%
2: 10% - 170 ºC	14.00%
3: 10% - 190 ºC	13.57%
4: 12.5% - 150 ºC	15.79%
5: 12.5% - 170 ºC	15.88%
6: 12.5% - 190 ºC	19.51%
7: 15% - 150 ºC	18.15%
8: 15% - 170 ºC	19.40%
9: 15% - 190 ºC	18.49%

El análisis de varianza (ANVA), detallado en Anexo 3, indica que ningún factor, ni concentración o temperatura, presenta diferencias significativas ($p<0.05$) respecto al contenido de fenoles totales. Además, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.8805$, lo cual indica que el 88.05% de la variación de los valores del contenido de fenoles totales son explicados por efecto de las variaciones de concentración y temperatura, mientras que el 11.95% es explicado por efecto de otros factores.

4.6. Superficie de respuesta generada y optimización de las variables de respuesta.

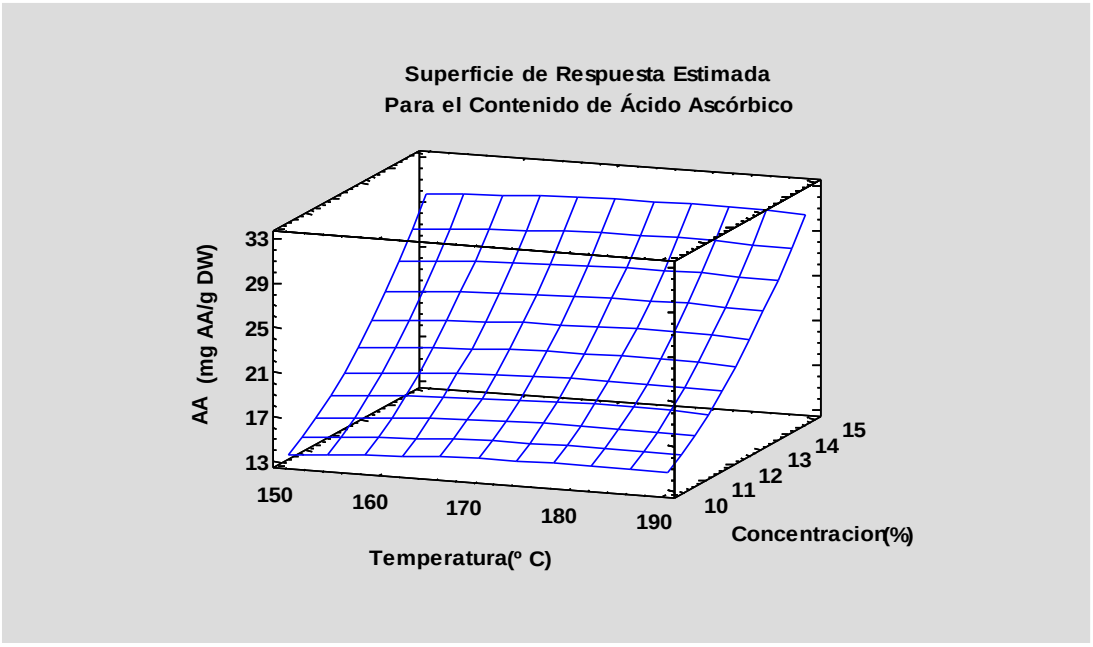
4.6.1. Superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico.

Ecuación de regresión:

$$AA\ (C,T)\ =\ -10.7838 - 4.54 * C + 0.441333 * T + 0.320853 * C^2 - 0.00119417 * T^2 - 0.0012 * T * C$$

La ecuación fue obtenida a partir de los coeficientes de regresión calculados con el software estadístico. Con esta ecuación se puede graficar la superficie de respuesta y contornos de la superficie en el mismo software.

Figura 13. Superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.



Elaborado en STATGRAPHICS 19.

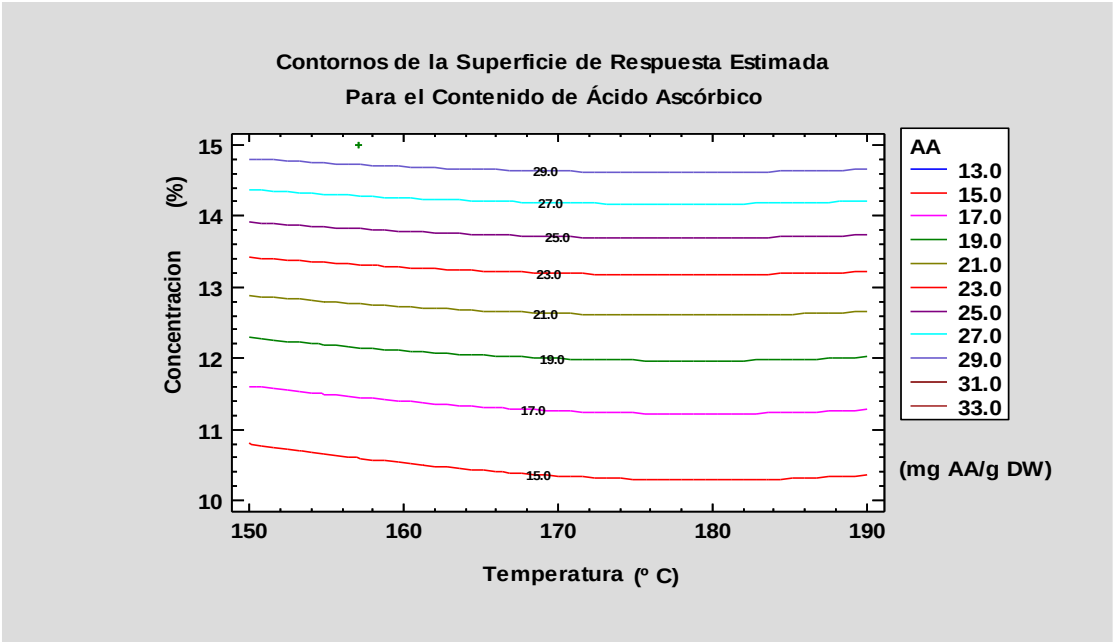
También a través del software podemos optimizar la respuesta para ver que combinaciones de concentración y temperatura nos ofrece la maximización de ácido ascórbico.

Cuadro 13. Optimización del contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca.

Predicción	***Inferior 95.0% Limite***		***Superior 95.0% Límite***
30.3402	29.4892		31.1912
Factor	***Bajo***	***Alto***	***Óptimo***
Temperatura	150.0	190.0	157.076
Concentración	10.0	15.0	15.0

El anterior cuadro nos indica que el valor más alto se obtendría con 157.08 ºC de temperatura de aire de entrada y 15% de concentración de almidón modificado de yuca, cuyo valor estimado sería de 30.34 mg AA/g MS.

Figura 14. Contornos de la superficie de respuesta para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.



Elaborado en STATGRAPHICS 19.

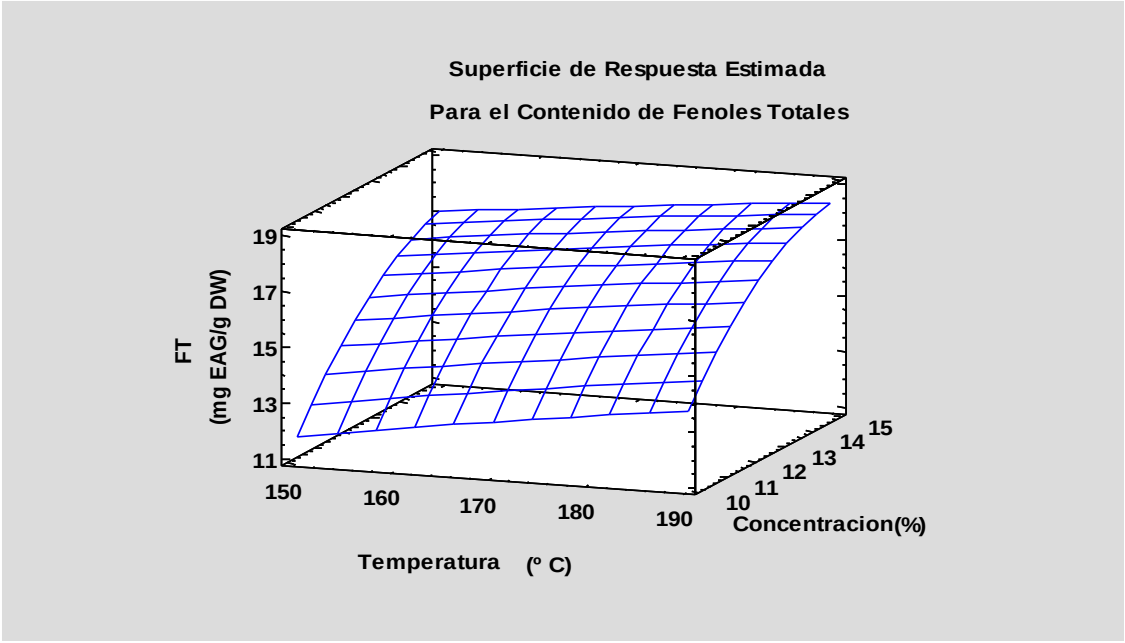
4.6.2. Superficie de respuesta para el contenido de humedad(%H)

Ecuación:

$$FT\ (C,T) = -38.6556 + 5.39322 * C + 0.135738 * T - 0.155307 * C^2 - 0.000172917 * T^2 - 0.002975 * T * C$$

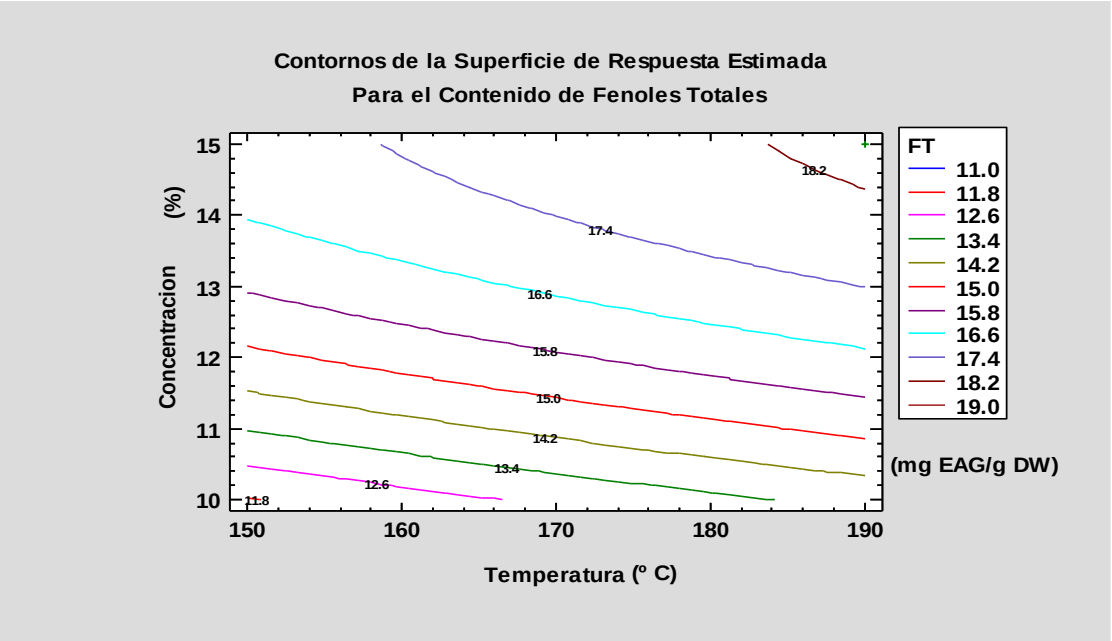
La ecuación fue obtenida a partir de los coeficientes de regresión calculados con el software estadístico STATGRAPHICS 19. Con esta ecuación se puede graficar la superficie de respuesta y contornos de la superficie en el mismo software.

Figura 15. Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu atomizada utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.



Elaborado en STATGRAPHICS 19.

Figura 16. Contornos de la superficie de respuesta estimada para el contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.



Elaborado en STATGRAPHICS 19.

También a través del software podemos optimizar la respuesta para ver que combinaciones de concentración y temperatura nos ofrece la maximización de fenoles totales.

Cuadro 14. Optimización del contenido de fenoles totales de pulpa de camu-camu atomizada con almidón modificado de yuca.

Predicción	***Inferior 95.0% Limite***		***Superior 95.0% Límite***
18.3677	14.3542		22.3812
Factor	***Bajo***	***Alto***	***Óptimo***
Temperatura	150.0	190.0	**190.0**
Concentración	10.0	15.0	**15.0**

Realizado en Statgraphics 19

El anterior cuadro nos indica que el valor más alto se obtendría con 190 ºC de temperatura de aire de entrada y 15% de concentración de almidón modificado de yuca, cuyo valor estimado sería de 18.37 mg AGE/g MS.

V. DISCUSIÓN.

5.1. Caracterización del camu-camu.

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos bibliográficos, ya que se conoce que la humedad puede variar entre 93.83 ± 0.51%, el pH puede variar 2.84 ± 0.31 y los sólidos solubles pueden variar de 6.18 ± 0.99 ºBrix, estos rangos provienen un consolidado de 60 años de investigaciones sobre la composición nutricional del camu-camu de diversos investigadores (Castro et al., 2018).

Otras investigaciones posteriores a este artículo también confirman estos valores obtenidos, teniendo para la humedad 92.21 ± 0.06 % (cultivo seco – Amazonas-Brasil) y 91.79 ± 0.15 % (cultivo inundado – Roraima-Brasil) (Azevedo et al., 2019); asimismo pH 2.83 ± 0.01 y sólidos solubles 6.60 ± 0.46 ºBrix (pulpa de Manaos-Brasil) y pH 2.84 ± 0.01 y sólidos solubles 6.73 ± 0.05 ºBrix (pulpa de Sao Paulo-Brasil) (Fujita et al., 2017).

5.2. Sobre el almidón modificado de yuca obtenido.

El almidón modificado de yuca demostró una solubilidad menor a la maltodextrina y mayor viscosidad. Esto dificultó lograr mezclarlo en solución con el camu-camu, requiriendo necesariamente del aumento de la temperatura y agitación constante. La razón del por qué el almidón modificado de yuca tiene estas características se deba a que la modificación usada (dextrinización) no tiene el suficiente nivel de depolimerización (hidrólisis) y transglicosilación (reordenamiento molecular) para que en solución forme aglomerados homogéneos con el núcleo que va a proteger (BeMiller J. , 2003). Podríamos estar ante una forma que puede seguir siendo modificada para mejorarse, puesto que la hidrólisis acida (la dextrinización es un tipo especial de hidrólisis acida) del almidón puede ser combinada con hidrólisis enzimática (Hofman et al., 2016).

Respecto a la pérdida del color de las muestras atomizadas, tiene que ver con la capacidad del microencapsulante de proteger a las antocianinas, pero también con la naturaleza reactiva de estas, pues el incremento de pH y la

hidratación derivan en la formación de bases quinoidales y chalconas que ocasionan degradación del color, a un anaranjado, y si la degradación continúa a colores más oscuros (marrón a negro) (Chang, 2013). Los compuestos que se pierden en alguna proporción son las antocianinas llamadas Cianidina 3-O-glucósido y Delfinidina-3-glucósido, que representan el 89% y 4.5% aproximadamente de todas las antocianinas presentes en la pulpa del camu-camu (Zanatta et al., 2005).

5.3. Eficiencia del proceso de atomización.

Fujita et al. (2017) reportaron que, utilizando maltodextrina y goma arábiga como materiales de pared, obtuvieron alrededor de 25% de rendimiento de secado por aspersión de pulpa de camu-camu, utilizando temperaturas de aire de entrada de 120, 150 y 180 °C y 6, 12 y 18% de concentración de materiales de pared. Mencionan también que la goma arábiga demostró ser ligeramente mejor en obtener un rendimiento un poco mayor.

Dib Taxi et al. (2003) también atomizaron pulpa de camu-camu, pero solamente utilizando maltodextrina, obteniendo un rendimiento de secado similar, 26%, utilizando como parámetros la concentración de maltodextrina de 12 a 32% y temperaturas de aire de entrada entre 120 y 152 °C.

Estos antecedentes son superiores a la eficiencia de proceso de esta investigación, que varía 14.54 – 20.56 % (ver Cuadro 7), aunque por un pequeño margen.

5.4. Contenido de humedad de las muestras atomizadas.

Un requerimiento para que polvos alimenticios sean apropiados para almacenamiento a largo plazo es que su contenido máximo de humedad esté en el rango de 4-6% (Li et al., 2020). Como se puede observar esto se cumple en todas las muestras, siendo la humedad máxima 5.229% en la primera muestra (ver Cuadro 8).

5.5. Cantidad de compuestos bioactivos encontrados en las muestras atomizadas.

5.5.1. Contenido de ácido ascórbico.

La cantidad de ácido ascórbico encontrado en las nueve muestras atomizadas con almidón modificado de yuca oscilan entre rango MIN-MAX de 13.59 – 31.10 mg AA/g MS, además las pérdidas de ácido ascórbico oscilan entre 80.62-91.50%.

Estos valores pueden ser comparados a lo encontrado por García et al. (2020), quienes determinaron que la cantidad de ácido ascórbico en su polvo atomizado de pulpa de camu-camu con maltodextrina era de 66.90 mg/g MS. Fracassetti et al. (2013) reportaron un contenido de 35.1 mg/g MS en pulpa de camu-camu atomizada utilizando maltodextrina al 10% y 185 °C de aire de secado.

También Fujita et al. (2017) reportaron el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu atomizada con maltodextrina y goma arábiga, teniendo un rango MIN-MAX de 26.7–62.0 mg/g MS (maltodextrina) y 35.3–137.5 mg/g MS (goma arábiga). Estos mismos investigadores reportaron pérdidas de ácido ascórbico entre 53-74% (maltodextrina) y 43-74% (goma arábiga).

5.5.2. Contenido de fenoles totales.

La cantidad de fenoles totales encontrado en las nueve muestras atomizadas con almidón modificado de yuca oscilan entre rango MIN-MAX de 11.97 – 18.53 mg AGE/g MS, además las pérdidas de fenoles totales oscilan entre 80.49-87.39%.

El valor de fenoles totales de la pulpa de camu-camu, es decir 94.99 mg AGE/g MS para poder ser comparado con otras investigaciones nos sirve mejor tenerlo en unidades de peso fresco o *fresh weight (FW)*, por su denominación en inglés, es decir, 664.91 mg AGE/100 g FW. Esta cantidad es menor a lo encontrado por otros investigadores: 1176 mg AGE/100 g FW (Rufino et al., 2010), 1797 mg AGE/100 g FW (Genovese et al., 2008) y 1320 mg AGE/100 g FW (Chirinos et al., 2010). Los motivos de esta menor cantidad de fenoles pueden ser varios, desde factores agronómicos hasta condiciones de transporte y almacenamiento.

La cantidad de fenoles totales de la pulpa de camu-camu atomizada con el almidón modificado de yuca fue menor a lo obtenido por Fujita et al. (2017), que obtuvieron en pulpa de camu-camu atomizada un rango MIN-MAX de 25.3 – 43.8 mg AGE/g MS (maltodextrina) y 32.1 - 57.9 mg AGE/g MS (goma arábiga), siendo además 99.9 mg AGE/g MS el contenido de fenoles totales de la pulpa de camu-camu. Esto indica que tuvieron pérdidas de fenoles totales entre 57.95 - 67.86 %. Fracassetti et al. (2013) reportaron que el contenido de fenoles totales encontrado en sus muestras atomizadas de pulpa de camu-camu con 10% maltodextrina de 185 ºC de temperatura de aire de entrada tuvieron un contenido medio de, esta cantidad es menor a lo reportado en esta tesis y a lo reportado por otros investigadores.

5.6. Sobre el modelo de superficie de respuesta.

5.6.1. Para el contenido de ácido ascórbico.

La superficie muestra poca curvatura, esto es debido a que los rangos de experimentación de los factores son reducidos comparados a la región de operabilidad del proceso, que fue definida por experimentación preliminar, siendo esta 130 - 210 ºC de temperatura de aire de entrada y 8 - 20% de concentración de almidón modificado de yuca. Se puede afirmar que existe una relación casi lineal entre los factores y la respuesta.

La gráfica de contornos esquematiza más claramente la tendencia que previamente se había mencionado, la poca influencia de la temperatura en el contenido de ácido ascórbico hace que exista casi un aumento lineal en la variable de respuesta. Tan solo a menores concentraciones (10-12%) la temperatura impacta más en la variable de respuesta.

En la investigación de Arteaga (2020) también se utilizó superficie de respuesta para optimizar la cantidad de ácido ascórbico al variar los factores de experimentación (concentración de goma arábiga, temperatura de aire de entrada, y velocidad de giro). Obtuvo que con los valores de 190º C y 15000 RPM (concentración no fue un factor significativo) se obtendría el máximo posible de ácido ascórbico: 26175 mg/100 g muestra seca. Este valor es muy distante de lo obtenido en esta investigación y en otras investigaciones por un factor de más del doble. Además, en su superficie de respuesta se observó una tendencia lineal en los efectos de factores con el ácido ascórbico, sin embargo, es necesario mencionar que usó un rango más reducido de temperatura (190-200 ºC) que en esta investigación.

5.6.2. Para el contenido de fenoles totales.

La superficie muestra mayor curvatura que en la superficie del contenido de ácido ascórbico lo que indica mayor interacción entre las variables de concentración y temperatura y su influencia en los fenoles totales. De igual manera la falta de curvatura pronunciada es causada por los reducidos rangos de los factores.

La gráfica de contornos nos muestra una tendencia inversamente proporcional entre la concentración y los fenoles totales, vemos que mientras más aumenta la concentración, la tendencia a un menor contenido de fenoles totales se acentúa. Además, la temperatura tiene un mayor impacto en la variable de respuesta.

VI. CONCLUSIONES.

- Solo se puede atribuir capacidad de microencapsulación al almidón modificado de yuca para el contenido de ácido ascórbico ($p<0.05$), más no para el contenido de fenoles totales. Se encontró una diferencia promedio favorable de 16.39 mg de ácido ascórbico/g materia seca si se utiliza 15% de concentración de almidón modificado de yuca en comparación a si se usa 10%.

- La humedad del producto seco demostró estar dentro de los rangos normales para una matriz alimenticia en polvo. Además, solo el factor temperatura de aire de entrada influyó significativamente en la humedad ($p<0.05$).

- Se logró determinar los valores optimizados de ácido ascórbico y fenoles totales en la pulpa de camu camu atomizada.

- La eficiencia de microencapsulación de compuestos bioactivos utilizando el almidón modificado de yuca más baja que lo reportado por investigadores que utilizaron materiales de pared comerciales como la maltodextrina o goma arábiga.

- Todo lo estudiado y reportado indica que las dextrinas amarillas obtenidas de la modificación del almidón de yuca tienen potencial como agente microencapsulante, aunque mayores estudios son requeridos.

VII. RECOMENDACIONES.

- Realizar mayores análisis sobre la naturaleza química y estructural del almidón de yuca modificado por dextrinización (morfología, solubilidad, reología, entre otros).

- Se sugiere realizar estudios de almidón modificado de yuca considerando las diferentes variedades de yuca. Tener en cuenta que para la modificación por dextrinización favorece tener un alto contenido de amilosa en la composición del almidón.

- Una vía posible de mejora de este almidón modificado de yuca es la hidrólisis enzimática, por lo que se sugiere la incorporación de una alfa-amilasa durante o después de la dextrinización.

- En el proceso de dextrinización, se debe ser muy preciso con la cantidad de HCl, ya que es esencial como catalizador de la reacción química. Además, una vez finalizado el tratamiento térmico, se debe dejar que el almidón modificado enfríe como máximo 15 minutos, de lo contrario el rendimiento se verá reducido.

VIII. LITERATURA CITADA.

Abbas, S., Chang, D., Hayat, K., & Zhang, X. 2012. Ascorbic Acid: Microencapsulation techniques and trens. *Foods Reviews International*, 343-374.

Aguilar-Brenes, et al. 2017. *Manual del cultivo de yuca (Manihot esculenta Crantz).* San José: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Obtenido de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf

Ai, Y., & Jane, J.-l. 2018. Understanding Starch Structure and Functionality. En M. Sjöö, & L. Nilsson, *Starch in Food* (págs. 151-178). Woodhead Publishing. doi:ttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00003-2

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 15th edition.* Washington DC: AOAC.

ARCGIS. Junio de 2023. *World map/Perú*. Obtenido de World map satellite map: https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html

Arellano-Acuña, E., Rojas-Zavaleta, I., & Paucar-Menacho, L. M. 2016. Camu-camu (Myrciaria dubia): Fruta tropical de excelentes propiedades funcionales que ayudan a mejorar la calidad de vida. *Scientia Agropecuaria*, 433-443.

Arteaga Torres, F. I. 2020. *Efecto de la velocidad de flujo en la concentración de vitamina C del polvo de Myrciaria dubia (camu-camu) empleando goma arábiga como agente encapsulante.* Obtenido de UNAP - Repositorio institucional digital: https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6801

Arulselvan, P., Fard, M. T., Tan, W. S., Gothai, S., Fakurazi, S., Norhaizan, M. E., & Kumar, S. S. 2016. Role of Antioxidants and Natural Products in Inflammation . *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*.

Atker, S., Oh, S., Eun, J.-B., & Ahmed, M. 2011. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (myrciaria dubia) fruit: A review. *Food Research International*, 1728-1732.

Ayoub, A., Sood, M., Singh, J., Bandral, J., Gupta, N., & Bhat, A. 2019. Microencapsulation and its applications in the food industry. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8*(3), 32-37.

Azevedo, L., de Araujo Ribeiro, P. F., de Carvalho Oliveira, J. A., Correira, M. G., Ramos, F. M., de Oliveira, E. B., . . . Stringheta, P. C. 2019. Camu-camu (Myrciaria dubia) from commercial cultivation has higher levels of bioactive compounds than native cultivation (Amazon Forest) and

presents antimutagenic effects in vivo. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 624-631. doi:10.1002/jsfa.9224.

Banu, A. T., & Lunghar, J. 2021. Supplements and diets for antiinflammation. En S. Gopi, A. Almaraj, A. Kunnumakkara, & T. Sabu, *Inflammation and Natural Products* (págs. 359-376). Academic Press.

BeMiller, J. 2003. Dextrins. En B. Caballero, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (págs. 1773-1775). Elsevier Science.

BeMiller, J. N. 2018. Physical Modification of Starch. En M. Sjöö, & L. Nilsson, *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (págs. 223-253). Woodhead Publishing.

Camere-Colarossi, R., Ulloa-Urizar, G., Medina-Flores, D., Caballero-García, S., Mayta-Tovalino, F., & del Valle-Mendoza, J. 2016. Antibacterial activity of Myrciaria dubia (Camu camu) against Streptococcus mutans and Streptococcus sanguinis. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6*(9), 740-744.

Castro, J. C., Maddox, J. D., Cobos, M., & Imán, S. A. 2018. Myrciaria dubia "Camu Camu" Fruit: Health-Promoting Phyrochemicals and Functional Genomic Characteristics. En J. Soneji, & M. Nageswara-Rao, *Breeding and Health Benefits of Fruit and Nut Crops* (págs. 85-116). IntechOpen.

Chang, A. 2013. *El camu camu: aspecto químicos, farmacológicos y tecnológicos.* Ica.

Chen, Y., Kaur, L., & Singh, J. 2018. Chemical modification of starch. En M. Sjöö, & L. Nilsson, *Starch in Food* (págs. 283-321). Woodhead Publishing.

Cheng, S., Yuen, M., Kan, C., Cheuk, K. C., & Lam, K. 2009. Cosmetic textiles with biological benefits: gelatin microcapsules containing vitamin C. *International Journal of Molecular Medicine, 24*(4), 411-419.

Chirinos, R., Galarza, J., Betalleduz-Pallardel, I., Pedreschi, R., & Campos, D. 2010. Antioxidants compounds and antioxidant capacity of peruvian camu-camu (Myrciaria dubia (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturirty stages. *Food Chemistry*, 1019-1024.

Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. 2019. Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. *Journal of Food Science and Technology, 56*(6), 2799-2813.

Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. 2021. Microencapsulation: An overview on concepts,methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers, 2*, 426-442. doi:https://doi.org/10.1002/fft2.94

Conceição, N., Albuquerque, B. R., Pereira, C., Corrêa, R. C., Lopes, C. B., Calhelha, R. C., . . . Ferreira, I. C. 2020. By-Products of Camu-Camu [Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh] as Promising Sources of Bioactive

High Added-Value Food Ingredients: Functionalization of Yogurts. *Molecules, 25*(70), 1-17. doi:doi:10.3390/molecules25010070

De Azevêdo, J. C., Fujita, A., De Oliveira, E. L., Genovese, M. I., & Correira, R. T. 2014. Dried camu-camu (Myrciaria dubia H.B.K. McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. *Food Research International, 62*, 934-940.

Díaz-Montes, E. 2023. Wall Materials for Encapsulating Bioactive Compounds via Spray-Drying: A Review. *Polymers, 15*(12). doi:https://doi.org/10.3390/polym15122659

Díaz-Montes, E., Cerón-Montes, G. I., & Vargas-León, E. A. 2023. Encapsulación de compuestos bioactivos- una revisión sistemática. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 10*(20), 17-28. doi:http://dx.doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575

Dib Taxi, C., Menezes, H., Santos, A., & Grosso, C. 2003. Study of the microencapsulation of camu-camu (Myrciaria dubia) juice. *Journal of Microencapsulation*, 443-448.

Dostert, N., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torres, M., & Weigend, M. 2009. *Factsheet: Datos Botánicos de Camu Camu.* Lima: Proyecto Peru Biodiverso - PBD.

Estrada, S., García, S., & Lafosse, J. 2022. *Plan de marketing internacional para incrementar la exportación de harina y polvo de camu-camu al mercado mexicano.* Obtenido de https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1611/Estrada_Garcia_Lafosse_tesis_maestria_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernández-Ríos, A., Laso, J., Hoehn, D., Amo-Setién, F. J., Abajas-Bustillo, R., Ortego, C., . . . Margallo, M. 2022. A critical review of superfoods from a holistic nutritional and environmental approach. *Journal of Cleaner Production, 379*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134491

Fracassetti, D., Costa, C., Moulay, L., & Tomás-Barberán, F. 2013. Ellagic acid derivatives, ellagatannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of two powder productos from camu-camu fruit (Myrciaria dubia). *Food Chemistry*, 578-588.

Frolich, S., Schubert, C., Bienzle, U., & Jenett-Siems, K. 2005. In vitro antiplasmodial activity of prenylated chalcone derivatives of hops (Humulus lupulus) and their interaction with haemin. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 55*, 883-887.

Fujita, A., Sarkar, D., Genovese, M. I., & Shetty, K. 2017. Improving anti-hyperglycemic and anti-hypertensive properties of camu-camu

(Myrciaria dubia McVaugh) using lactic acid bacterial fermentation. *Process Biochemistry, 59*(Part B), 133-140.

Fujita, A., Sarkar, D., Wu, S., Kenelly, E., Shetty, K., & Genovese, M. I. 2015. Evaluation of phenolic linked bioactives of camu-camu (Myrciaria dubia McVaugh) for anthyperglycemia, antihypertension, antimicrobial properties and cellular rejuvenation. *Food Research International*, 194-203.

Fujita, A., Souza, V., Daza, L., Favaro-Trindade, C., Granato, D., & Genovese, M. 2017. Effects of Spray-Drying parameters on In Vitro Functional Properties of Camu-Camu (Myrciaria dubia Mc. Vaugh): A Typical Amazonian Fruit. *Journal of Food Science*, 1-9.

García, V. A., Borges, J. G., Vanin, F. M., & Carvalho, R. A. 2020. Vitamin C stability in acerola and camu-camu powder obtained by spray drying. *Brazilian Journal of Food Technology*(23), 1-13.

García-Chacón, J. M., Marín-Loaiza, J. C., & Osorio, C. 2023. Camu Camu (Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh): An Amazonian Fruit with Biofunctional Properties−A Review. *ACS Omega, 8*, 5169-5183.

Genovese, M. I., Pinto, M., Gonçalves, A. E., & Lajolo, F. 2008. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Exotic Fruits and Commercial Frozen Pulps from Brazil. *Food Science and Technology International, 14*(3), 207-214. doi:https://doi.org/10.1177/1082013208092151

Gonçalves, A. E., Lajolo, F. M., & Genovese, M. I. 2010. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potencial of Brazilian native fruits and commercial frozen pulps. *Agricultural and Food Chemistry, 58*(8), 4666-4674.

Gonçalves, A. E., Lellis-Santos, C., Curi, R., Lajolo, F. M., & Genovese, M. I. 2014. Frozen pulp extracts of camu-camu (Myrciaria dubia McVaugh) attenuate the hyperlipidenia and lipid peroxidation of type 1 diabetic rats. *Food Research International, 64*, 1-8.

Google. Junio de 2023. *Google Maps*. Obtenido de https://www.google.com/maps/@-8.4493691,-74.5053434,426m/data=!3m1!1e3?entry=ttu

Hofman, D. L., Van Buul, V. J., & Brouns, F. J. 2016. Nutrition, Health, and Regulatory Aspects of Digestible Maltodextrins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 56*(12), 2091-100. doi:10.1080/10408398.2014.940415

Imán, S., Bravo, L., Sotero, V., & Oliva, C. 2011. Contenido de vitamina C en frutos de camu-camu Myrciaria dubia (H.B.K.) Mc Vaugh, en cuatro estados de maduración, procedentes de la Colección de Germoplasma del INIA Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria, 2*(3), 123-130.

Jin, Y., Li, J. Z., & Malaki Nik, A. 2018. Starch-Based Microencapsulation. En M. Sjöö, & L. Nilsson, *Starch in Food:* (págs. 661-690). Woodhead Publishing.

Li, K., Pa, B., Lingjun, M., Song, M., & Junfu, J. 2020. ffect of Dextrose Equivalent on Maltodextrin/Whey Protein Spray-Dried Powder Microcapsules and Dynamic Release of Loaded Flavor during Storage and Powder Rehydration. *Foods, 9*(12). doi:https://doi.org/10.3390/foods9121878

MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 1991. *Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos.* San José, Costa Rica: DIA.

Martins, S., Mussatto, S., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C., & Teixeira, J. 2011. Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances, 23*, 365-373. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.008

Maurya, P. 2014. Animal Biotechnology as a Tool to Understand and Fight Aging. En A. Verma, & A. Singh, *Animal Biotechnology.* Elsevier.

MIDAGRI. 2023. *Boletines anuales de producción agrícola en el Perú - SIEA.* Obtenido de https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola

MINCETUR. 2021. *Exportaciones de camu camu alcanzaron récord histórico en 2020.* Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/mincetur/noticias/345752-exportaciones-de-camucamu-alcanzaron-record-historico-en-2020

Mori, T., Ruiz, E., García, M., Bardales, J., Tresierra-Ayala, Á., & Bendayán, M. 2016. Efecto animicrobiano de Myrciaria dubia (camu-camu) y Cyperus luzulae (piri piri) sobre microorganismos patógenos. *Conocimiento Amazónico, 4*(1), 49-57.

Mtunguja, M. K., Laswai, H. S., Kanju, E., Ndunguru, J., & Muzanila, Y. C. 2016. Effect of genotype and genotype by evironment interaction on total cyanide content, fresh root, and starch yield in farmer-preferred cassava landraces in Tanzania. *Food Sciencie and Nutrition, 4*(6), 791-801.

Myoda, T., Fujimura, S., Park, B., Nagashima, T., Nagakawa, T., & Nishisawa, M. 2010. Antioxidative and antimicrobial potential of residues of camu-camu juice production. *International Journal of Food, Agriculture and Environment*, 304-307.

Nascimiento, O. V., Boleti, A. P., Yuyama, L. K., & Lima, E. S. 2013. Effects of diet supplementation with camu-camu (Myrciaria dubia HBK McVaugh) fruit in a rat model of diet-induced obesity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 85*(1), 355-363.

Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M., & Shahwar, D. 2020. Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. En M. O. Emeje, & M. Blumenberg, *Chemical Properties of Starch* (págs. 13-33). Londres: IntechOpen. doi:http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88870

Nielsen, S. S. 2017. *Food Analysis Laboratory Manual.* Springer International Publishing.

Peanparkdee, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R. 2016. Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Agricultural Science*, 56-65.

Pérez, O., Ley, N., González, E., & Valdés, C. 2017. Modificación hidrotérmica del almidón de yuca para su empleo como estabilizador de helados. *Revistas Catalanas con Acceso Abierto*, 275-281.

Petrus, J., Wilhelmus, R., & Maria, A. 1999. *España Patente nº ES2207304T3.*

Procurement resource. 2022. *Procurement Resource.* Obtenido de Maltodextrin Price Trend and Forecast: https://www.procurementresource.com/resource-center/maltodextrin-price-trends

Reynertson, K. A., Yang, H., Jiang, B., Basile, M. J., & Kenelly, E. J. 2008. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. *Food Chemistry, 109*(4), 883-890.

Risch, S. 1995. Encapsulation: Overview of Uses and Techniques. En S. Risch, & G. Reineccius, *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients* (págs. 2-7). Washington, DC: American Chemical Society.

Rodrigues, R. B., De Menezes, H. C., Cabral, L. M., Dornier, M., & Reynes, M. 2001. An Amazonian fruit with a high potential as a natural source of vitamin C: the camu-camu (Myrciaria dubia). *Fruits, 56*(5), 345-354.

Rufino, M., Alves, R., Brito, E., Perez-Jimenez, I., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, I. 2010. Biactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 996-1002.

Ruiz, L., Ruiz, L., Maco, M., Cobos, M., Gutierrez-Choquevilca, A., & Roumy, V. 2011. Plants used by native Amazonian groups from the Nanay River (Peru) for the treatment of malaria. *Journal of Ethnopharmacology, 133*(2), 917-921.

Sandoval-Peraza, V. M., Cu-Cañetas, T., Peraza-Mercado, G., & Acereto-Escoffé, P. O. 2016. Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutracéuticas. En M. E. Ramírez-Ortiz, *Alimentos funcionales de hoy* (págs. 181-218). Barcelona: OmniaScience. doi:https://doi.org/10.3926/oms.358

Santos, D., Maurício, A. C., Sencadas, V., Santos, J. D., Fernandes, M. H., & Gomes, P. S. 2018. Spray Drying: An Overview. En R. Pignatello, *Biomaterials - Phyisics and Chemistry* (págs. 9-35). IntechOpen.

Schmitz, G. J., Gonc¸alves, F. H., R., O. D., Campanha, R. H., Valle, T. L., Franco, C. M., & Cordenynsi-Lysenko, B. R. 2017. Selected physicochemical properties of staches isolated from ten cassava varieties reveal novel industrial uses. *Starch/Starke, 69*(6), 1-9.

Shankar, K., & Mehendale, H. M. 2014. Oxidative Stress. En P. Wexler, *Encyclopedia of Toxicology.* Elsevier.

Singleton, V., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation subtrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 152-178. doi:https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Starch Europe. 20 de Junio de 2021. *Modified Starches*. Obtenido de Starch in Food: https://starchinfood.eu/ingredient/modified-starches/

Suarez, L., & Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de yuca (Manihot esculenta Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos tropicales, 32*(3), 27-35. Obtenido de http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v32n3/ctr04311.pdf

Taggart, P., & Mitchell, J. 2009. Starch. En P. Williams, & G. Phillips, *Handbook of Hydrocolloids* (págs. 108-141). Woodhead Publishing.

Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. 2004. Starch - composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science, 39*(2), 151-165.

Trade Map. 2023. *Lista de los mercados importadores para un producto exportado por Perú. Partida 0811.10.10.00 Frutas comestibles, sin cocer o cocidos en agua o vapor, congelados, incl. con adición de azúcar: Camu-camu .* Obtenido de www.trademap.org

Vardanyan, R. S., & Hruby, V. J. 2006. Hypolipidemic Agents. En R. S. Vardanyan, & V. J. Hruby, *Synthesis of Essential Drugs.* Elsevier.

Velasco, R., Luna, W., Mera, J., & Villada, H. 2008. Producción de Dextrinas a partir de Almidón Nativo de Yuca por Via Seca en una Agroindustrial Rural. *Información Tecnológica, 19*(2), 15-22.

Yazawa, K., Suga, K., Honma, A., Shirosaki, M., & Koyama, T. 2011. Anti-inflammatory effects of seeds of the tropical fruit camu-camu (Myrciaria dubia). *Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 57*(1), 104-107.

Zanatta, C. F., Cuevas, E., Bobbio, F. O., Winterhalter, P., & Mercadante, A. Z. 2005. Determination of anthocyanins from camu-camu (Myrciaria dubia) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(24), 9531-9535. doi:10.1021/jf051357v.

Zanatta, C., & Mercadante, A. 2007. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (Myrciaria dubia). *Food Chemistry*, 1525-1532.

IX. ANEXOS.

Anexo 1. Análisis de Varianza para el contenido de ácido ascórbico (AA) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Temperatura	0.516245	1	0.516245	3.89	0.1432
B: Concentración	1.88809	1	1.88809	14.21	0.0327
AA	0.456331	1	0.456331	3.44	0.1609
AB	0.0144	1	0.0144	0.11	0.7636
BB	8.04272	1	8.04272	60.55	0.0044
Error total	0.398472	3	0.132824		
Total (corr.)	412.687	8			

R-cuadrada = 99.9034 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.7425 porciento

R-cuadrado (predicho) = 98.8266 porciento (PRESS = 4.84228)

Error estándar del est. = 0.36445

Error absoluto medio = 0.176914

Estadístico Durbin-Watson = 3.16751 (P=0.7777)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.694305

Anexo 2. Prueba de Tukey (Múltiples rangos) para evaluar las diferencias entre medias para el contenido de ácido ascórbico de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Concentración	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
10	3	14.0583	A
12.5	3	20.2463	B
15	3	30.445	C
Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 12.5	*	-6.188	1.39481
10 - 15	*	-16.3867	1.39481
12.5 - 15	*	-10.1987	1.39481

* indica una diferencia significativa.

Anexo 3. Análisis de Varianza fenoles totales (FT) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Temperatura	0.048834	1	0.048834	0.02	0.8850
B: Concentracion	2.66444	1	2.66444	1.35	0.3294
AA	0.00956806	1	0.00956806	0.00	0.9489
AB	0.0885062	1	0.0885062	0.04	0.8459
BB	1.88439	1	1.88439	0.95	0.4006
Error total	5.9231	3	1.97437		
Total (corr.)	49.5602	8			

R-cuadrada = 88.0487 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 68.1298 porciento
R-cuadrado (predicho) = 0.0 porciento (PRESS = 57.6197)
Error estándar del est. = 1.40512
Error absoluto medio = 0.692395
Estadístico Durbin-Watson = 2.38724 (P=0.3512)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.252394

Anexo 4. Análisis de Varianza para el contenido de humedad (%H).

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Temperatura	0.315244	1	0.315244	24.93	0.0154
B: Concentración	0.000576045	1	0.000576045	0.05	0.8447
AA	0.38808	1	0.38808	30.70	0.0116
AB	0.024025	1	0.024025	1.90	0.2619
BB	0.0128	1	0.0128	1.01	0.3885
Error total	0.037929	3	0.012643		
Total (corr.)	6.2271	8			

R-cuadrada = 99.3909 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.3757 porciento
R-cuadrado (predicho) = 93.6191 porciento (PRESS = 0.397347)
Error estándar del est. = 0.112441
Error absoluto medio = 0.0546667

Estadístico Durbin-Watson = 3.19585 (P=0.7921)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.696644

Anexo 5. Prueba de Tukey (Múltiples rangos) para evaluar las diferencias entre medias para el contenido de humedad (%H) de pulpa de camu-camu secada por aspersión utilizando almidón modificado de yuca como material de pared.

Temperatura	***Casos***	***Media***	***Grupos Homogéneos***
190	3	3.18833	A
170	3	4.60733	B
150	3	5.14533	C
Contraste	***Sig.***	***Diferencia***	***+/- Límites***
150 - 170	*	0.538	0.313987
150 - 190	*	1.957	0.313987
170 - 190	*	1.419	0.313987

* indica una diferencia significativa.

Anexo 6. Galería de fotografías de la ejecución de tesis.

Anexo 6A. Yuca, variedad señorita, siendo pesada previa extracción del almidón nativo.



Anexo 6B. Triturado de la yuca para extracción de almidón.



Anexo 6C. Modificación del almidón de yuca - Incorporación del ácido clorhídrico (y control del pH) en el almidón nativo de yuca que actúa como catalizador en la dextrinización.



Anexo 6D. Almidón modificado de yuca por dextrinización inmediatamente después de haber finalizado el periodo de tratamiento térmico.



Anexo 6E. Almidón modificado de yuca 10 minutos después de retirado de la finalizado el tratamiento térmico.



Anexo 6F. Molienda del almidón modificado de yuca con mortero.



Anexo 6G. Preparación de soluciones camu-camu con almidón modificado de yuca.



Anexo 6H. Atomización de las muestras en equipo escala laboratorio marca LONZA HENTO 1500.



Anexo 6I. Muestras atomizadas y almacenadas en botellas ámbar de vidrio.



Anexo 6J. Supervisión de ejecución de tesis por parte del jurado evaluador.



Anexo 6K. Análisis de contenido de polifenoles totales por método Folin-Ciocalteu y contenido de ácido ascórbico por método volumétrico 2,6 diclorofenolindofenol.



