



UNAP



FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

TESIS

**EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO EN LA CONCENTRACIÓN DE
VITAMINA C DEL POLVO DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) EMPLEANDO
GOMA ARABIGA COMO AGENTE ENCAPSULANTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

FERNANDO ISAAC ARTEAGA TORRES

ASESORES:

ING. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, MSC.

ING. ROGER RUIZ PAREDES, MSC.

IQUITOS, PERÚ

2020



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 002-CGT-FIA-UNAP-2020

En Iquitos, en la Sala de Reuniones de la Decanatura, ubicado en el Campus SL11 Puerto Almendra de la Facultad de Industrias Alimentarias sito al margen derecho del rio Nanay, Distrito de San Juan, Provincia de Maynas, Departamento de Loreto, a los 08 días del mes de febrero de 2020, a horas 09:30 a.m., se dió inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada : "EFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO EN LA CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C DEL POLVO DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) EMPLEANDO GOMA ARABIGA COMO AGENTE ENCAPSULANTE", aprobado con Resolución Decanal N° 0149-FIA-UNAP-2018 presentado por el Bachiller: **FERNANDO ISAAC ARTEAGA TORRES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 034-FIA-UNAP-2020 del 21 de enero de 2020, está integrado por:

**FERNANDO TELLO CELIS
ELMER ALBERTO BARRERA MEZA
ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE**

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: satisfactoriamente.....

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llego a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADO..... con la calificación Buena (1.5)

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias Siendo las 10:30 a.m. se dió por terminado el acto de sustentación.

Miembro
Elmer Alberto Barrera Meza
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 116048

Presidente
Fernando Tello Celis
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 47489

Miembro
Alfonso Miguel Rios Cachique
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP N° 211418

Asesor
Ing. Roger Ruiz Parades
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 41754

Asesor
Gerje Luis Carranza Gonzalez
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP 1113

MIEMBROS DEL JURADO

El jurado calificador certifica que el trabajo de investigación “EFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO EN LA CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C DEL POLVO DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) EMPLEANDO GOMA ARABIGA COMO AGENTE ENCAPSULANTE” de responsabilidad del bachiller **FERNANDO ISAAC ARTEAGA TORRES**; han sido detalladamente revisados por los miembros del jurado, quedando autorizado para la sustentación.



Fernando Tello Celis
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 47489



Eimar Alberto Barrera Meza
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 116648



Alfonso Miguel Ríos Cachi
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 211418

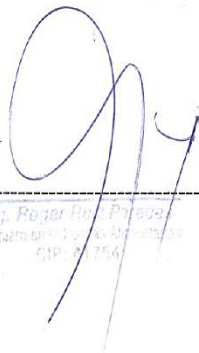
Autorización de los Asesores

El MSc. Roger Ruiz Paredes, docente principal adscrito al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y el MSc. Jorge Luis Carranza Gonzales, docente asociado al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.

INFORMAN:

Que el Bachiller **FERNANDO ISAAC ARTEAGA TORRES**, han realizado bajo nuestra dirección, el trabajo contenido en la memoria intitulada: **EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO EN LA CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C DEL POLVO DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) EMPLEANDO GOMA ARABIGA COMO AGENTE ENCAPSULANTE** y considerando que el mismo reúne los requisitos necesarios para ser presentado, ante el Jurado Calificador, a tal efecto damos pase para su sustentación y posterior obtención del título de: Ingeniero (a) en Industrias Alimentarias.

AUTORIZAMOS: Al Bachiller a presentar el Trabajo Final de Carrera, para proceder a su sustentación cumpliendo así con la normativa vigente que regula el Reglamento de Grados y Títulos en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.



Ing. Roger Ruiz Paredes
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 11756



Jorge Luis Carranza González
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 11113

Dedicatoria

Dedico mi tesis a Dios por permitirme la vida y la fortaleza que me ha permitido enfrentar nuevos retos.

A mi Esposa y mis Hijas quienes con su fuerza y amor me impulsaron a sobrellevar diferentes obstáculos, a mi Madre cuya perseverancia me inspira, a mi padre por impulsar a culminar los proyectos emprendidos, además por su apoyo incondicional en mis decisiones quienes me llenan de dicha y comparten conmigo momentos invaluable que me motivan a proyectarme y seguir adelante.

Agradecimiento

A mi familia en conjunto por demostrarme la veraz e invaluable amistad que me ofrecen, por él apoyó tenaz en los momentos más enrevesados de mi vida y por ser parte importante de mi vida y crecimiento profesional.

A mi asesor Ing. MSc. Jorge Luis Carranza Gonzales por su guía en la elaboración de la tesis y por su incondicional amistad.

A los trabajadores de la planta piloto UNAP (Ing. Carlos Tercero Inga Flores, Luis Ermeto Silva Ramos, Téc. Elmer Guevara Pérez, Secret. Mamelina Tuesta Linares, Téc. José Mauro Arimuya Morey y Lic. Alexander Iman Torres); con el apoyo brindado a la hora de ejecutar las pruebas; me facilitaron el trabajo siendo muy profesionales, aprendí mucho con ellos y llegamos a entablar una amistad sincera.

Índice de contenido

PORTADA	I
ACTA DE SUSTENTACIÓN	II
MIEMBROS DEL JURADO	III
AUTORIZACIÓN DE LOS ASESORES	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRAC	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Bases teóricas	6
1.2.1 Camu camu.....	6
1.2.2 Vitamina C.....	7
1.2.3 Métodos de secado.....	7
1.2.2.1 Secado por pulverización.....	7
1.2.2.2 Liofilización.....	8
1.2.4 Microencapsulación.....	9
1.2.5 Técnicas de microencapsulación.....	9
1.2.6 Aplicaciones en la industria alimentaria.....	10
1.2.7 Material de cobertura.....	10
1.2.8 Goma arábiga.....	11
1.3 Definición de términos básicos	12
1.3.1 Antioxidante.....	12
1.3.2 Secado por pulverización.....	12
1.3.3 Metodología de superficie de respuesta.....	12
1.3.4 Microencapsulación.....	12
1.3.5 Polisacárido.....	13
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	14
2.1 Formulación de la hipótesis	14
2.2 Variables y su operacionalización	14
2.2.1 Variables independientes.....	14
2.2.2 Variables dependientes.....	14
2.2.3 Operacionalidad de variables.....	15

CAPITULO III: METODOLOGÍA	16
3.1 Tipo y diseño.....	17
3.2 Diseño muestral	17
3.3 Procedimiento para la recolección de los datos experimentales	18
3.4 Procesamiento y análisis de datos	20
3.4.1 Caracterización de las partículas de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) por <i>spray drying</i>	20
3.4.1.1 Determinación de humedad.....	20
3.4.1.2 Determinación de cenizas.....	21
3.4.1.3 Determinación de grasas	22
3.4.1.4 Determinación de proteínas.....	23
3.4.1.5 Determinación de carbohidratos	25
3.4.1.6 Determinación de fibra total.....	25
3.4.1.7 Determinación de vitamina C	27
3.5 Procesamiento y análisis de los datos.....	28
3.6 Aspectos éticos.....	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	29
4.1 Caracterización de materiales	29
4.2 Caracterización de partículas de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) obtenido por <i>spray dryer</i> con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro.	30
4.3 Diseño experimental para la determinación de vitamina C en partículas de goma arábica por <i>spray drying</i>	30
4.4 Análisis microbiológico de partículas conteniendo <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) por <i>spray drying</i>	33
4.4 Análisis estadístico.....	33
4.5 Balance de materia para el proceso de atomización.....	37
CAPITULO V: DISCUSIÓN	41
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	43
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	44
CAPÍTULO VII: FUENTES DE INFORMACIÓN	45
ANEXOS	51

Lista de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables para la optimización de secado de pulpa de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu)	15
Tabla 2: Factores y niveles para la obtención de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) en polvo por <i>spray dryer</i> .	17
Tabla 3. Composición centesimal de pulpa de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu)	29
Tabla 4. Composición centesimal de goma arábica	29
Tabla 5. Composición centesimal (%) de partículas de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) por <i>spray drying</i> con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro	30
Tabla 6. Diseño experimental para la determinación de vitamina C en partículas conteniendo <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) por <i>spray drying</i> con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro	32
Tabla 7. Resultados microbiológicos en MPGA conteniendo <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) por <i>spray drying</i>	33
Tabla 8: Resultado de análisis estadístico	33
Tabla 9. Balance de materia del fruto de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) con 4% de goma arábica como encapsulante	39
Tabla 10. Balance de materia del fruto de <i>Myrciaria dubia</i> (camu camu) con 6% de goma arábica como encapsulante	40

Lista de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo para el secado de la pulpa de <i>Myrciaria dubia</i>	18
Figura 2: Análisis de Pareto	35
Figura 3 Gráfica de contorno	36
Figura 4: Superficie de repuesta de la temperatura °C Vs. Velocidad de giro del aspersor (RPM)	37

Lista de abreviaturas

AA	: Ácido ascórbico
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
DCCR	: Diseño Compuesto Central Rotacional
DCA	: Diseño Compuesto Aleatorizado
GA	: Goma arábica
MD	: Maltodextrina
MPGA	: Micropartículas de goma arábica

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la determinación de las velocidades de flujo optimas de ingreso del jugo de *Myrciaria dubia* (camu camu) al secador *spray dryer* para su conversión en polvo; realizando conjugaciones entre las variables de operación como son: temperatura (190 °C – 200°C), goma arábica (4 % y 6 %) y velocidad de giro (RPM) del aspensor como indicador de la velocidad de alimentación del jugo al atomizador. Todos los tratamientos fueron analizados de acuerdo recomendado por la A.O.A.C. (2014) mostrando que los mejores tratamientos fueron el T5 y T6, T5: Temperatura 190 °C, goma arábica 4% de concentración, velocidad de giro 15000 RPM, vitamina C: 26372.81 mg/100 g de polvo seco, humedad. 5.31 %, ceniza: 3.10 %, grasa: 0.38, proteína: 2.84 %, carbohidratos: 88.37, T6: Temperatura 200 °C, goma arábica 4% de concentración, velocidad de giro 15000 RPM, vitamina C: 25720.38 mg/100 g de polvo seco, humedad: 5.35 %, ceniza: 3.01 %, grasa: 0.37, proteína: 2.85 %, carbohidratos: 88.42. La velocidad de flujo del fluido afecta el contenido de vitamina C del polvo atomizado de *Myrciaria dubia* (camu camu), siendo los mejores resultados a 15000 RPM de velocidad de giro del aspensor, siendo el resultado determinado por la correcta interacción de los factores.

Palabras clave: *Myrciaria dubia*, vitamina C, goma arábica, *Spray drying*.

ABSTRAC

The objective of the investigation was the determination of the optimal flow rates of the entrance of the juice of *Myrciaria dubia* (camu camu) to the spray dryer for its conversion into powder; making conjugations between the operation variables such as: temperature (190 ° C - 200 ° C), gum arabic (4% and 6%) and the rotational speed (RPM) of the sprinkler as an indicator of the speed of feed of the juice to the atomizer. All treatments were analyzed according to the recommendation recommended by the A.O.A.C. (2014) showing that the best treatments were T5 and T6, T5: Temperature 190 ° C, gum arabic 4% of concentration, rotation speed 15000 RPM, vitamin C: 26372.81 mg / 100 g of dry powder, humidity. 5.31%, ash: 3.10%, fat: 0.38, protein: 2.84%, carbohydrates: 88.37, T6: temperature 200 ° C, gum arabic 4% concentration, spin speed 15000 RPM, vitamin C: 25720.38 mg / 100 g of dry powder, humidity: 5.35%, ash: 3.01%, fat: 0.37, protein: 2.85%, carbohydrates: 88.42. The fluid flow rate affects the vitamin C content of the atomized powder of *Myrciaria dubia* (camu camu), the best results being at 15000 RPM of the sprinkler turning speed, the result being determined by the correct interaction of the factors.

Keywords: *Myrciaria dubia*, vitamin C, gum arabic, spray drying.

INTRODUCCIÓN

La región Amazónica tiene árboles nativos en los que las propiedades funcionales son ampliamente reportadas debido a sus características antioxidantes y antiproliferativas. Las plantas amazónicas ofrecen un gran potencial terapéutico atribuido al contenido de fitoquímicos bioactivos (Avila-Sosa et al. 2019). *Myrciaria dubia* (camu camu) es una planta que se desarrolla en climas tropicales a lo largo de las riveras de los ríos, las frutas son fuentes prometedoras de diversos compuestos bioactivos como la vitamina C, compuestos fenólicos y carotenoides (Akter et al. 2011). Las frutas de camu-camu también son fuentes de potasio, hierro, calcio, fósforo y varios tipos de aminoácidos como serina, valina y leucina. Por lo tanto, la presencia de diferentes compuestos bioactivos en las frutas de camu-camu utilizado para retrasar o prevenir diversas enfermedades como como cardiovascular y cáncer (Akter et al. 2011)

La fruta del camu-camu ha despertado el interés de varios sectores industriales como medicina, cosmética, alimentación y conservantes naturales. Por ejemplo, extracto de la cascara de camu-camu es posible obtener el pigmento natural como antocianinas. Además, muchas investigaciones han demostrado que el tipo de vitamina C encontrado en abundancia en las frutas de camu-camu no es destruido por el calor (Neves et al. 2015).

Diferentes procesos de secado pueden aplicarse con la finalidad de eliminar el agua de la pulpa de frutas frescas, desde un punto de vista tecnológico, la tendencia general es optimizar y estandarizar el proceso de secado para garantizar la oferta de productos de alta calidad. Las tecnologías de secado se evalúan principalmente por su desempeño para reducir la actividad del agua a bajo costo de energía mientras se mantiene una buena calidad

sensorial del producto seco. En general, el efecto de inactivación microbiana de las tecnologías presentadas aún no se ha evaluado exhaustivamente, incluso para métodos tradicionales como el secado solar, secado con aire convencional o liofilización (Bourdoux et al. 2016). Actualmente el proceso de secado por atomización también denominado proceso de encapsulación, principalmente se utiliza para convertir un alimento líquido en sólido con la finalidad de prolongar la vida útil (Khairullah et al. 2017).

Una de las ventajas del secado por atomización es el corto tiempo de residencia de jugo dentro del equipo hasta su salida en forma de polvo que varía desde 3 a 7 segundos, dependiendo de las condiciones de operación como son: la temperatura de entrada, densidad del jugo a atomizar, composición físico química, encapsulante a emplear, etc.

La goma arábica ha sido un material muy valorado por miles de años. Fue utilizado por los egipcios para embalsamar a las momias, y se ha encontrado que está presente en pergaminos en antiguo hebreo. Su uso principal, hoy en día, es en la industria alimentaria, donde tiene aplicación como emulsionante para aceites, saborizantes en la industria de alimentos (Sanchez et al. 2018). La goma arábica (GA) se considera un agente encapsulante por excelencia y se usa principalmente debido a sus características de alta solubilidad en agua, baja viscosidad y propiedades emulsionantes (Williams 2016).

Extractos fenólicos de jabuticaba, jussara y arándano fueron encapsulados utilizando SD utilizando maltodextrina, goma arábica y concentrado de proteína de suero (WPC) como materiales de la pared. Ambos materiales proporcionaron los más altos eficiencia de encapsulación de antocianinas cuando comparado con combinaciones de las mismas. Además, maltodextrina y goma arábica presentaron la menor higroscopicidad (Rocha et

al. 2019). Actualmente el secado por pulverización se emplea para proteger y preservar el principio activo de pulpas comerciales de *Myrciaria dubia* (camu camu), utilizando goma arábica comparada con maltodextrina (Fujita et al. 2017).

Teniendo estas consideraciones, la presente investigación comprende el estudio experimental del efecto de los factores temperatura, velocidad de giro y concentración del encapsulante sobre el contenido final de vitamina C del polvo atomizado de *Myrciaria dubia* (camu camu).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Aproximadamente entre los años 1930 y 1940 los procesos de encapsulación fueron desarrollados por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante mediante un proceso de coacervación. Indistintamente, se utiliza también, el término microencapsulación en la industria alimentaria o farmacéutica, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades (Gibbs et al. 1999). El término microcápsula aplica para partículas que tienen tamaños que van desde 1 μm a 5000 μm , mientras que a las que son inferiores a 1 μm , se les denomina nanocápsulas (Lozano 2009).

En otro estudio se determinó los efectos de las principales variables del secado por atomización para la obtención de jugo de naranja en polvo como método alternativo para el aprovechamiento integral del jugo de naranja. Las variables evaluadas fueron la temperatura de entrada del aire, flujo de alimentación y concentración de maltodextrina, las cuales tuvieron diferente grado de significancia sobre las respuestas evaluadas, siendo la temperatura de entrada de aire la que tuvo mayor grado de significancia sobre el contenido de humedad y contenido de polifenoles, mientras que la concentración de maltodextrina lo fue para el rendimiento y humedad, sin embargo, en los atributos de color no se observaron efectos significativos bajo estas variables. Por tanto, utilizando secado por aspersión, se obtuvo un polvo de jugo de naranja con características fisicoquímicas estables, usando maltodextrina 7% (p/v) y alginato de sodio 0.1% (p/v) como agentes portadores, 160°C de temperatura de entrada de aire, 14 mL/min de flujo de alimentación, lo que viabilizará el uso de esta tecnología de secado (Castañón-Rodríguez et al. 2020).

Sin embargo, el uso de aditivos y sales inorgánicas, como protectores, minimizaban los daños por temperatura. Añadiendo que, el contacto entre la gota y el aire caliente, para la formación de la microcápsula, es de aproximadamente 5 a 30 segundos (Gibbs et al. 1999 ;Gharsallaoui et al. 2007).

Varios materiales son utilizados para protección de sustancias hidrofobias que incluye la goma arábica, sin embargo, su principal desventaja es su costo

debido a la sobredemanda. No obstante, debido a su eficacia reportada con respecto a otros materiales como la maltodextrina y el almidón modificado, el costo podría no ser relevante, mientras se obtenga una protección o estabilidad mayor para productos microencapsulados de alto valor de interés alimentario o farmacéutico (Reineccius 1989).

El secado por pulverización consta de tres pasos de operación: atomización, deshidratación y recolección de polvo. La alimentación de la solución polimérica es rociada por un atomizador en una cámara de secado. Ayudado por la superficie específica de las gotas y la deshidratación por el aire caliente tiene lugar en pocos segundos en una cámara de secado a escala de laboratorio. Finalmente, las partículas secas son transportadas al ciclón y asentarse en el colector de productos. Los parámetros más importantes del proceso incluyen: temperatura de entrada del aire de secado, temperatura de salida del aire de secado, tasa de secado de flujo de aire, tasa de flujo de aire de atomización y tiempo de residencia. De estos parámetros, la temperatura de salida es el factor dominante en el control de la velocidad de secado y las partículas importantes características, como la forma de las partículas y la humedad contenido (Ameri y Maa 2006).

De acuerdo con el reporte de Gabas et al. (2009), con relación a la humedad de equilibrio de polvo de pulpa de lulo con y sin aditivos – 58% de maltodextrina (MD) o 58% de goma arábica (GA) – fueron determinados en las temperaturas de 20, 30, 40 y 50 °C utilizando el método estático gravimétrico para un rango de actividades de agua entre 0.06 y 0.90. Las isothermas presentaron formato sigmoidal del tipo III, y el modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer fue ajustado satisfactoriamente a los datos experimentales de humedad de equilibrio en función de la actividad de agua. La adición de encapsulantes afectó las isothermas de tal manera que en la misma actividad de agua, las muestras presentaron un menor contenido de humedad de equilibrio y no fueron afectadas por la variación de temperatura. Los calores isostéricos de sorción de las pulpas en polvo con encapsulantes fueron mayores (menos negativos) con relación a las pulpas de lulo en polvo, sugiriendo la existencia de sitios polares más activos en el producto sin adición de GA o MD. Una relación exponencial empírica fue

utilizada para describir la dependencia del calor de sorción con el contenido de humedad del material.

En trabajo reciente de Arepally y Goswami (2019) evaluaron la influencia de la temperatura del aire de entrada y la concentración de goma arábica en el contenido de humedad, la actividad del agua, la eficiencia de encapsulación, la densidad aparente, la densidad de derivación, la densidad de partículas, la porosidad, las propiedades de flujo y la morfología del polco conteniendo probiótico secado por pulverización se encontró que el aumento de la temperatura del aire de entrada provoca una disminución de la eficiencia de encapsulación y el aumento de la concentración de goma arábica causa un aumento en la eficiencia de encapsulación, contenido de humedad, densidad de partículas y disminución de la actividad del agua, densidad aparente y porosidad. Encontrándose las condiciones optimizadas para la producción probióticos encapsulados viables eran la temperatura del aire de entrada de 150 °C y 8.51% de goma arábica.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Camu camu

Myrciaria dubia, una planta nativa de la región amazónica, se destaca como una fruta rica en vitamina C y otros metabolitos con potencial nutricional. Sin embargo, hay muy poco conocimiento sobre química, propiedades biológicas y toxicológicas de muchas de estas especies; es un arbusto amazónico nativo de la familia *Myrtaceae* comúnmente conocida como camu – camu. Esta especie tiene gran valor nutricional, principalmente debido a los niveles más altos de potasio y el ácido ascórbico (vitamina C) presente en su pulpa, también proporciona cantidades considerables de compuestos fenólicos, lo que puede convertirlo en alimento funcional (da Silva et al. 2012).

1.2.2 Vitamina C

La característica principal del camu camu es la acidez es un compuesto asociado al ácido ascórbico (AA) o vitamina C, es una vitamina hidrosoluble y termolábil. Los seres humanos y otros primates, así como el cobayo, son los únicos mamíferos incapaces de sintetizar el AA. En ellos, la deficiencia, genéticamente determinada, de la gulonolactona oxidasa impide la síntesis del ácido L-ascórbico a partir de la glucosa (Manela-Azulay et al. 2003).

1.2.3 Métodos de secado

Una gama de tecnologías de secado están disponibles, desde un punto de vista tecnológico, la tendencia general es optimizar y estandarizar el proceso de secado para garantizar la oferta de productos de alta calidad. Las tecnologías de secado se evalúan principalmente por su desempeño para reducir la actividad del agua a bajo costo de energía mientras se mantiene una buena calidad sensorial del producto seco (Bourdoux et al. 2016).

Varias investigaciones describen procesos basados en la eliminación rápida de disolvente por pulverización del producto a secar en el seno de una corriente de gas caliente; en medio de una temperatura elevada comprendida entre 150 – 300 °C que permite una desecación muy rápida y la obtención de un polvo seco. Los tiempos de secado son de 1 a 20 segundos y la temperatura del producto es relativamente baja. El secado por pulverización está ganando cada vez más atención para obtener un producto suave, de un solo paso, continuo y escalable que convierte líquidos en polvo seco (Arpagaus 2012).

1.2.2.1 Secado por pulverización

El secado por pulverización es una técnica común en las industrias alimentarias para convertir un líquido en polvo. Es importante comprender el comportamiento dinámico del proceso para garantizar un control adecuado. Es necesario un estudio preliminar para estudiar el efecto de varias entradas, como la entrada de temperatura del aire, flujo de alimentación, contenido de humedad, densidad aparente y solubilidad de los polvos. La selección de los insumos adecuados es importante para garantizar la calidad deseada de los productos finales (contenido de humedad) (Singh y Dixit 2014).

El secado por pulverización se usa comúnmente para fabricar alimentos y polvos lácteos a escala industrial. Los péptidos bioactivos, como productos de hidrólisis de diversas proteínas alimentarias, están ganando interés debido a su funcionalidad biológica, incluidas las propiedades inmunomoduladoras, antimicrobianas y antioxidantes (Wang y Selomulya 2020).

1.2.2.2 Liofilización

Convencionalmente, el material en un recipiente cerrado es rápidamente congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos. Entonces la presión se reduce por debajo la presión de vapor del hielo a la temperatura de funcionamiento y calor es suministrado lentamente por conducción: el hielo se sublima y abandona el material. Cuando el hielo se ha eliminado por completo, este es el final del secado primario: el calor de sublimación ya no es necesario y la temperatura del producto aumenta. El secado secundario, el eliminación del agua no congelada (10% a 35% del agua inicial contenido), se lleva a cabo al vacío a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 10 a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ para productos sensibles al calor (Zhang et al. 2020).

En estudio reciente, se utilizó leche de coco para secar por pulverización y liofilización; para el secado por pulverización se emplearon temperaturas de entrada ($180\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$) y velocidad de alimentación ($0.7\text{--}0.9\text{ L/hr}$) como factores. La humedad del polvo, la tasa de secado y el rendimiento de recuperación del producto se utilizaron como respuestas para optimizar el secado por pulverización. Las condiciones óptimas para el secado por pulverización de leche de coco con respecto a la Las respuestas estudiadas fueron $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura de entrada y 0.9 L/hr para la velocidad de alimentación. Una comparación fue hecha en términos de propiedades físicas, químicas, térmicas y mecánicas. El polvo liofilizado exhibió una forma más estable de polvo en el manejo y almacenamiento debido a su bajo contenido de humedad (1.19%) y alta temperatura de transición vítrea ($22.94 \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$). La estructura porosa y el tamaño de la partícula del polvo liofilizado fluyen libremente en comparación con el polvo secado por pulverización (Zafisah et al. 2018).

1.2.4 Microencapsulación

La microencapsulación se define como una tecnología por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica conteniendo una sustancia activa, esta membrana, es constituida de componentes con biopolímeros para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Bakry et al. 2016). Asimismo, a partir de esta técnica es posible alterar las propiedades coloidales y de superficie de materiales, siendo capaz de proporcionar protección a la acción de factores externos y controlar sus características de liberación y biodisponibilidad (Jones y McClements 2011).

Las micropartículas tienen potencial para encapsular, proteger y liberar agentes bioactivos, que incluyen fármacos, suplementos y nutracéuticos. La retención y liberación de los bioactivos encapsulados depende de las características como el tamaño de poro de la micropartícula, interacciones atractiva o repulsiva entre bioactivos y biopolímeros (Ye, Georges y Selomulya 2018).

La microencapsulación es aplicado a muchas áreas del conocimiento, en el área de alimentos se ha utilizado para la protección y suministro de bioactivos. En la encapsulación, los componentes (denominados núcleo o activo) se empaquetan dentro de un material secundario (denominado material de pared o encapsulante) y se liberan en pequeñas cantidades (Sanguansri 2018).

1.2.5 Técnicas de microencapsulación

Las técnicas de microencapsulación se llevan a cabo a través de procesos físicos o mecánicos que incluyen la co-cristalización, secado, congelamiento, enfriamiento, extrusión. En los procesos químicos se encuentran la coacervación, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en liposomas, inclusión molecular y secado por aspersión, siendo esta la más utilizada en la industria alimentaria (Parra 2011).

Por otro lado, el tamaño medio de la micropartícula requerida, las propiedades físicas del agente encapsulante, la sustancia a encapsular, las aplicaciones del material encapsulado propuesto, el mecanismo de liberación deseado y el costo serán los determinantes para la elección del método de encapsulación (Martin et al. 2009).

1.2.6 Aplicaciones en la industria alimentaria

Diferentes aplicaciones son utilizadas en la industria alimentaria que incluyen reducción de la reactividad del activo con el ambiente externo, control de liberación, enmascarar sabores; manipulación del producto y protección con relación a los agentes externos, como pH, luz, calor y humedad (Zhu 2017). La expansión de la microencapsulación en la industria de alimentos revela el creciente potencial de aplicación para materiales como aceites con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, enzimas, probióticos, vitaminas, aminoácidos, aceites esenciales y colorantes. Entre sus aplicaciones, protección a compuestos de aroma, que pueden ser perdidos por evaporación, oxidación o interacciones con otros compuestos, y liberación controlada de éstos (Pareta et al. 2014). Un importante desafío en aplicaciones alimenticias es la identificación de matrices que pueden ser producidos con materiales de grado alimenticio como proteínas y polisacáridos, utilizando técnicas de fabricación económicamente viables, que garanticen que estas micropartículas mantengan su funcionalidad en los productos elaborados y en el tracto gastrointestinal humano (McClements 2017).

1.2.7 Material de cobertura

El desafío mayor en encapsulación por secado por atomización es la selección del material de cobertura. Siendo que los materiales de cobertura deben tener alta solubilidad, emulsionantes y formadores de película y también deben proporcionar protección al núcleo material de oxígeno atmosférico y condiciones de procesamiento. Carbohidratos como maltodextrinas y los almidones modificados, cuando se usan solos, no muestran buena propiedades de encapsulación debido a la pobre emulsión capacidad, generalmente se usan en combinación. Uno de los materiales de mayor protección es la goma arábica (Patel y Goyal 2015).

Proteínas y polisacáridos son biopolímeros ampliamente distribuidos en la naturaleza y se encuentran con gran frecuencia en estructuras fundamentales que conforman diferentes organismos vivos. Cuando se encuentran presentes en una solución pueden ser segregativas o asociativas, siendo un caso específico de las asociativas la coacervación compleja, con diferentes aplicaciones en la industria alimentaria (McClements 2017).

1.2.8 Goma arábica

Numerosos agentes bioactivos utilizados en las industrias farmacéutica y alimenticia requieren ser protegidos con la finalidad mitigar los problemas asociados con la solubilidad en agua, inestabilidad química y / o baja biodisponibilidad oral. Las micropartículas gelificadas están encontrando una utilización creciente para la encapsulación, protección y liberación controlada de Bioactivos lipofílicos. Estas partículas a menudo pueden fabricarse a partir de biopolímeros de grado alimenticio (como proteínas y polisacáridos) utilizando operaciones de procesamiento simples (como la complejación, precipitación antidisolvente, homogenización, inyección, cizallamiento y procesamiento térmico) (Zhang et al. 2015).

La goma arábica es el exudado complejo del árbol de *Acacia senegal* y del árbol de *Acacia seyal*. Esta savia seca con inmenso valor comercial es un producto comercializado en el mundo, generalmente cosechado en África y Asia occidental. No digerible, baja viscosidad en la solución, y generalmente reconocida como un producto de consumo seguro, hace su popularidad en las industrias alimentarias. Por sus deseables propiedades emulsionantes, estabilizantes, aglutinantes y mejora de vida útil de los productos, ha encontrado aplicación en muchos alimentos (Patel y Goyal 2015).

1.3 Definición de términos básicos

1.3.1 Antioxidante

Los antioxidantes son conocidos como moléculas que actúan antes o durante una reacción en cadena de los radicales libres; ya sea en la etapa de iniciación, propagación, terminación, descomposición o en la subsecuente oxidación de los productos. Los antioxidantes se consideran nutraceuticos importantes en cuenta de muchos beneficios para la salud (Khan et al. 2019).

1.3.2 Secado por pulverización

El secado por pulverización es una técnica basada en la eliminación rápida de solvente de un sistema, produciendo partículas con varias propiedades que puede ser específicamente diseñado. Debido a la gran cantidad de fármacos poco solubles en agua presentes en el mercado actual, esta técnica genera partículas de fármaco con mejor solubilidad (Davis y Walker 2018).

1.3.3 Metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie respuesta (MSR) es una técnica estadística utilizada para diseño de experimentos que proporciona información relevante en tiempo corto con bajo costo. El principio básico de MSR es relacionar las propiedades del producto con la ecuación de regresión que describe las interrelaciones entre los parámetros de entrada y de salida del proceso (Anuonye 2012).

Tradicionalmente la optimización es lograda por el monitoreo de la influencia de un factor a la vez. Sin embargo, utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR), la optimización es realizada simultáneamente y en una manera más precisa obteniendo modelos polinómicos capaces de describir dentro de un rango experimental de prueba y condiciones óptimas que maximicen uso de criterio de respuesta (Almeida et al. 2008).

1.3.4 Microencapsulación

La microencapsulación es un proceso mediante el cual las sustancias bioactivas de los alimentos se introducen en una matriz para impedir que se deterioren, proteger de reacción de otros compuestos o detener reacciones de oxidación a causa de factores externos (Bakry et al. 2016).

1.3.5 Polisacárido

Los polisacáridos, como los materiales poliméricos no tóxicos y biodegradables, se han utilizado ampliamente en la preparación de cargadores biológicos. La amplia gama de fuentes, labiocompatibilidad, la no inmunogenicidad y la gran cantidad de grupos funcionales modificables hacen que los polisacáridos naturales sean una opción como cargadores de bioactivos. Los polisacáridos generalmente alteran la matriz alimentaria para causar cambios en las propiedades reológicas, lo que aumenta la retención de agua y la formación de gel, lo que lleva a un aumento de la matriz alimentaria (Shibakami et al. 2015).

CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la hipótesis

La determinación del efecto de la velocidad de flujo en la concentración de vitamina C del polvo de *myrciaria dubia* (camu camu) empleando goma arábica como agente encapsulante nos permitirá tener un producto de buena calidad.

2.2 Variables y su operacionalización

2.2.1 Variables independientes

Temperatura

Velocidad de giro

Concentración de goma arábica en solución

2.2.2 Variables dependientes

Concentración de vitamina C

2.2.3 Operacionalidad de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables para la optimización de secado de pulpa de *Myrciaria dubia* (camu camu).

Variables	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categorías	Valores de las categorías	Medio de verificación
Independientes							
Temperatura	Parámetro que mide el estado térmico de un cuerpo o sustancia en un determinado momento.	Cuantitativa	°C	Intervalo	Bajo	190	Cuaderno de apuntes
					Alto	200	
Velocidad de flujo	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto	Cuantitativa	rpm	Intervalo	Bajo	10000	Cuaderno de apuntes
					Alto	15000	
Concentración de goma arábica	Encapsulante para proteger el principio activo de la materia prima.	Cuantitativa	Porcentaje	Intervalo	Bajo	4	Cuaderno de apuntes
					Alto	6	
Dependientes							
Concentración de vitamina C	Ácido ascórbico, nutriente hidrosoluble, en el organismo actúa como antioxidante	Cuantitativa	mg/g	Razón	Promedio	>1000	Reporte de Análisis

CAPITULO III: METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia peruana con dirección en Av. Augusto Freire N° 610, distrito de Iquitos, provincia de Maynas, región Loreto y en los laboratorios de microbiología de alimentos, control de calidad de alimentos y fisicoquímico donde se realizarán las diferentes pruebas de investigación y los análisis respectivos.

Material y equipos

Material

La recolección de frutos de *Myrciaria dubia* se realizó en el mercado puerto de productores de la ciudad de Iquitos. Los análisis y ensayos experimentales fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la planta piloto de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicada en el distrito de Iquitos, provincia de Maynas.

Equipos

- **Equipos del proceso**

 - Secador Spray GALAXIE modelo "5017 - FX"

 - Balanza de 20 kg

 - Balanza digital de 0.1 gr de resolución.

- **Materiales del proceso**

 - Mesas de acero inoxidable.

 - Tinas y blades de plástico.

- **Insumos**

 - Frutos de *Myrciaria dubia* (camu camu)

 - Agua potable

- **Materiales de laboratorio**

 - Solución 2-6 diclorofenol indofenol

 - Agitador

Vasos de precipitado

Matraces

- **Secador de Spray para Planta Piloto** (Modelo: SD-Basic Laboratory Scale Spray Dryer, Serie: SDB1117158).

3.1 Tipo y diseño

El tipo de investigación será experimental científica. Su característica principal consiste en la correcta manipulación y control de las variables presentes en la investigación.

Tabla 2: Factores y niveles para la obtención de *Myrciaria dubia* (camu camu) en polvo por *spray dryer*.

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	nivel (+)
X ₁ : Temperatura de entrada (°C)	190	200
X ₂ : Velocidad de giro (rpm)	10000	15000
X ₃ : Concentración goma arábica (%)	4.0	6.0

Representado por el diseño factorial 2³

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_1X_2 + B_5X_1X_3 + B_6X_2X_3 + B_7 X_1X_2X_3$$

3.2 Diseño muestral

El método de la investigación es Descriptivo, de tipo Experimental y se empleará el software Minitab v.17 para el análisis estadístico con un diseño factorial 2³, con tres factores de estudio: temperatura, velocidad de giro del aspersor y concentración de goma arábica, como se detalla a continuación: el modelo estadístico desarrollado para determinar la cantidad final de Ácido ascórbico (vitamina C) es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_1X_2 + \beta_5X_1X_3 + \beta_6X_2X_3 + \beta_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

X_1 =Temperatura (°C), X_2 = velocidad de giro del aspersor (RPM), X_3 = concentración de goma arábica (%).

El factor X_1 tiene 2 niveles (-1= 190 °C, +1=200 °C), el factor X_2 tiene 2 niveles (-1=10000, +1= 15000), el factor X_3 . Tiene 2 niveles (-1=4 %, +1= 6 %), con un rango de aceptación de R^2 (>85%) y el valor de P ($P<0.05$) o ($F_{cal}>F_{tabla}$).

3.3 Procedimiento para la recolección de los datos experimentales

La Figura 1 se muestra el flujograma seguido para obtener *Myrciaria dubia* (camu camu) en polvo obtenido en secador *spray dryer*, los mismos que se describen en diagrama de flujo de proceso.

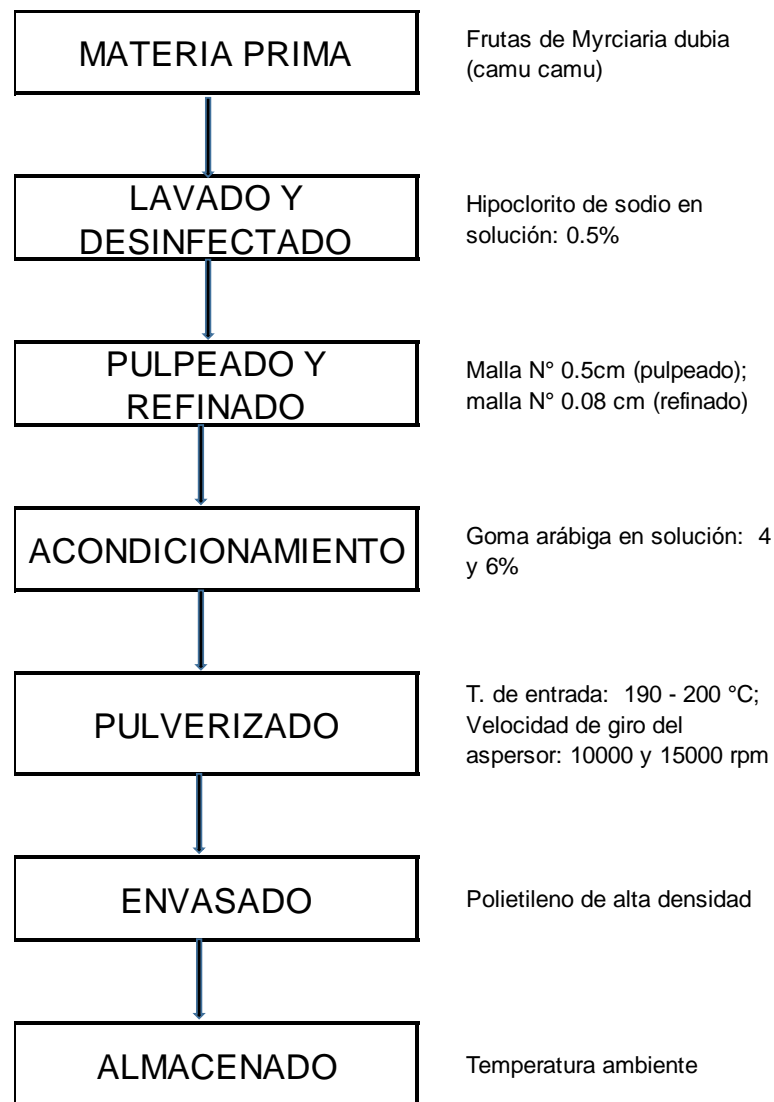


Figura 1: Diagrama de flujo para el secado de la pulpa de *Myrciaria dubia*

Materia prima

La fruta es adquirida en el mercado mayorista de Iquitos, teniendo en cuenta que solo se usarán las frutas que presenten un estado de desarrollo de pintón y maduro.

Selección/clasificación

Fueron separados los frutos malogrados, aplastados, ramitas y hojas, así como otras partículas extrañas al proceso.

Lavado/desinfectado

Las frutas sin residuos extraños son remojadas en una solución que contiene bisulfito de sodio al 0.5 % para desinfectarlas de los microorganismos adquiridos durante la cosecha y el transporte. El lavado se realiza con agua tratada y el objetivo es eliminar los residuos del desinfectante de la etapa anterior.

Pulpeado/refinado

La fruta seleccionada es pasada a través de la maquina pulpeadora para extraerle la pulpa, de acuerdo al número de malla de la pulpeadora se obtendrá una producto más fino o más espeso, según sea el requerimiento.

Acondicionamiento

A la pulpa se le agrega el encapsulante en solución en las concentraciones de 4, 5 y 6 % de goma arábica.

Atomizado

Se realizó a 190 y 200 °C, haciendo variar las velocidades de giro del aspersor (rpm).

Almacenado

A temperatura ambiente.

3.4 Procesamiento y análisis de datos

3.4.1 Caracterización de las partículas de *Myrciaria dubia* (camu camu) por *spray drying*.

3.4.1.1 Determinación de humedad

La humedad de las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Fundamento:

Se determina utilizando estufa a 105°C hasta obtener peso constante. Es la cantidad de agua que se encuentra en un alimento o parte de una especie, y se expresa en porcentaje.

Procedimiento:

- Pesar la placa seca y enfriada en el desecador.
- Pesar 5 g de muestra y colocarlo en la placa.
- Llevamos la muestra a la estufa a una temperatura de 100-105°C por espacio de 5 a 6 horas.
- Se retira las placas de la estufa, y se coloca en el desecador y se deja enfriar por lo menos 20 minutos, para luego tomar el peso final.

Se calcula el contenido de humedad, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{W1 - W2}{WM} \times 100$$

Donde:

W1 = Peso placa con muestra seca.

W2 = Peso de la placa vacío.

WM = Peso de la muestra.

3.4.1.2 Determinación de cenizas

Las cenizas de las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Fundamento:

La ceniza es el residuo inorgánico de una muestra incinerada a 550°C, su cuantificación es el inicio para la determinación de microminerales en los alimentos; los cuales en el organismo actúan como: Activadores enzimáticos, equilibrio de ácido base, estructuras de los huesos y dientes y componentes de hormonas y vitaminas.

Procedimiento:

- Colocar el crisol limpio en estufa a 100°C durante una hora.
- Colocar el crisol en el desecador para que se enfríe y pesarlo, siempre manipulando con pinzas de metal o guantes para evitar ensuciarlo con la grasa de los dedos.
- Pesar 1.5 a 2.0 g de muestra y colocarlo en el crisol de porcelana.
- Colocarlo en la mufla a temperatura de 550°C por 5 horas.
- Cumplido el tiempo de incinerado, retirar el crisol de la mufla cuando la temperatura haya descendido a 100°C; colocarlo en un desecador para que se enfríe.
- Pesar el crisol con las cenizas.

Calculo:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(W1 - W2)}{WM} \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de crisol más muestra (g)

W2 = Peso crisol (g)

WM = Peso de la muestra (g)

3.4.1.3 Determinación de grasas

La grasa de las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Fundamento:

Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias naturales insolubles en agua, pero solubles en una diversidad de solventes orgánicos, Los componentes más abundantes son los glicéridos (normalmente más del 95%) siendo menores las cantidades de ceras, fosfolípidos, esteroides y vestigios de otros lípidos.

Procedimiento:

- Pesar un balón limpio, seco y frío. Anotar en el registro el peso (g) del balón y el número correspondiente.
- Hacer un cartucho con papel filtro, pesarlo y agregarle 3 a 5 g de muestra seca.
- Colocar el cuerpo del equipo de Soxhlet.
- Agregar hexano hasta que una parte del mismo descienda a través del sifón del equipo hacia el balón, conectar la fuente de calor (cocina eléctrica).
- El solvente (hexano) al calentarse a 69°C se evapora y asciende a la parte superior de la cámara de extracción. Allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al balón por el sifón, arrastrando consigo la grasa por un espacio de 3 horas.

- Se saca el paquete que contiene la muestra desengrasada. El balón debe sacarse del aparato cuando este contiene poco hexano.
- Evaporar el hexano remanente en una estufa a 100°C.
- Sacarlo de la estufa y colocarlo en el desecador.
- Pesar el balón conteniendo la grasa.

El resultado se expresa en porcentaje, calculando según la fórmula:

$$\% G = \frac{P_1 - P_2}{PM} \times 100$$

Donde:

P₁ = Peso del balón más muestra grasa.

P₂ = Peso del balón vacío.

PM = Peso de la muestra.

3.4.1.4 Determinación de proteínas

La cantidad de proteína presente en las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Fundamento:

Las proteínas, son polímeros cuyas unidades básicas son aminoácidos. En la molécula de una proteína existen cientos o a veces miles de aminoácidos que se encuentran unidos unos a otros por enlaces peptídicos. En los alimentos por lo general se presentan veinte aminoácidos.

Procedimiento:

Primera etapa: Digestión

- Pesar 0.2 g de muestra seca y adicionar catalizador (1.5 g de sulfato de potasio + 0.005 g de sulfato de cobre) y colocar en el balón de Kjeldahl.

- Adicionar 3.5 mL de H₂SO₄ concentrado.
- Calentar el balón suavemente hasta que cese la formación de espuma.
- Digerir por ebullición vigorosa hasta que el contenido del balón muestre transparencia y de un color ligeramente azul-verdoso (continuar la digestión por 45 minutos) el tiempo total de digestión no debe ser menor de 2 horas.
- La digestión termina cuando el contenido del balón está completamente cristalino.

Segunda etapa: Destilación

- Dejar enfriar la muestra digerida. Luego adicionar 50 ml de agua destilada y colocar en el equipo de destilación. Agregar 15 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 50%.
- Colocar en un Erlenmeyer 20 ml de solución de ácido bórico más 3 gotas de solución indicadora.
- Introducir la salida de vapor del destilador en la solución de ácido bórico contenido en el Erlenmeyer para atrapar el destilado producido. Destilar la muestra hasta obtener 40 ml de volumen final de destilado.
- Titular con HCl a 0.1N el destilado obtenido y anotar el gasto.

El porcentaje de nitrógeno se calculó:

$$\%N_2 = \frac{V \times N \times \text{Factor } N_2}{PM} \times 100$$

Donde:

V = ml de solución 0.1 de ácido Sulfúrico

N = Normalidad corregida solución de ácido

PM = Peso de la muestra

Factor N₂ = 0.014

El porcentaje de Proteína se obtuvo a través de:

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ N} \times \text{Factor de Proteína}$$

Dónde:

% N = Porcentaje de nitrógeno

Factor de proteína = 6.25

3.4.1.5 Determinación de carbohidratos

Para determinar carbohidratos se hizo por diferencia de porcentaje (MINSA, 2009).

Se obtiene por diferencia de porcentaje:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{H} + \% \text{C} + \% \text{G} + \% \text{P})$$

Donde:

%H = Porcentaje de Humedad

%C = Porcentaje de Ceniza

%G = Porcentaje de Grasa

%P = Porcentaje de Proteína

3.4.1.6 Determinación de fibra total

Para determinar fibra bruta se utilizó la Referencia Técnica: A.O.A.C. 920.39, (1998).

Fundamento:

Para determinar fibra bruta, se utiliza una muestra seca y desengrasada, la cual primero es sometida en una digestión ácida con una solución de ácido sulfúrico al 1.25%, luego el residuo de este proceso es sometido a una digestión alcalina con solución de hidróxido de sodio al 1,25%.

Procedimiento:

- Pesar 1-2 g de muestra y colocar en un Erlenmeyer de 1 L.
- Añadir 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% que ha sido previamente calentado a ebullición.
- Añadir agente antiespumante o en todo caso perlas de vidrio.
- Hervir suavemente durante exactamente 30 minutos bajo condensador de reflujo, rotando periódicamente los matraces Erlenmeyer para homogenizar el contenido y evitando que las partículas se adhieren a la pared del matraz.
- Filtrar el contenido con embudo de Bunchner (o Hartley) preparado con papel de filtro mojado.
- Arrastrar por lavado la muestra de nuevo hacia el matraz original utilizando 200 ml de hidróxido de sodio al 1.25% y calentar hasta ebullición.
- Hervir por exactamente 30 minutos y seguir con el mismo cuidado de la ebullición.
- Transferir todo el material insoluble a un crisol empleando agua hirviendo.
- Lavar sucesivamente con agua hirviendo, ácido clorhídrico al 1% y finalmente con agua hirviendo hasta que el agua de filtrado quede exenta de ácido.
- Lavar dos veces con etanol.

- Lavar tres veces con acetona.
- Desecar a 100°C hasta peso constante.
- Incinerar en horno de mufla a 550°C durante una hora.
- Enfriar el crisol en desecador y volver a pesar.

El porcentaje de fibra se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Fibra} = \frac{P_2 - P_3}{PM} \times 100$$

Donde:

P₂ = Peso de la materia insoluble.

P₃ = Peso de las cenizas.

PM = Peso de la muestra.

3.4.1.7 Determinación de vitamina C

La determinación de la cantidad de vitamina C presente en la pulpa y en las partículas (polvo) fue realizada de acuerdo a la metodología de la AOAC (1990). Se basa en las propiedades de oxidación reducción del ácido ascórbico donde se mide la capacidad de reducción del extracto mediante el tratamiento con un agente oxidante, como el 2,6 Diclorofenol Indofenol Yodo, ferrocianuro, azul de metileno, etc. De estos el Diclorofenol Indofenol generalmente ha sido encontrado que es el más satisfactorio.

En los métodos de titulación con 2,6 Diclorofenol Indofenol es frecuente el empleo de extractores como el ácido metafosforico y el ácido oxálico, el ácido metafosforico sugerido primero por poseer varias ventajas pues este retarda la oxidación del ácido ascórbico mediante la inactivación del efecto catalítico de la oxidasa del ácido ascórbico y el cobre. En resumen, es un precipitante de proteínas y de ese modo ayuda a la remoción de las oxidasas enzimáticas y facilita la clarificación del extracto, mientras que el ácido oxálico es atractivo debido a su costo mucha más baja y gran estabilidad. Sin embargo, no es un precipitante de proteínas y por lo tanto es inaplicable para el uso de la extracción. La determinación por este método del contenido de vitamina C permite conocer el valor de la vitamina reducida en la muestra.

Procedimiento

1.- Estandarización

- Tomar 1 ml de solución de ácido ascórbico en ácido metafosfórico.
- Agregar 5 ml de solución de ácido metafosfórico.
- Agitar vigorosamente.
- Titular con solución 2,6 Diclorofenol Indofenol hasta obtener un cambio de color ha rozado, el cual debe persistir por 15 segundos. Anotar el gasto.

2.- Análisis de la muestra

- Tomar 10 mL de la muestra.
- Diluir a 100 mL con solución al 3 % de ácido metafosfórico.
- Filtrar o centrifugar.
- Tomar 1 mL del extracto de la muestra.
- Titular con solución 2,6 Diclorofenol Indofenol hasta obtener un cambio de color rosado pálido.
- Anotar el volumen gastado.

$$\text{Ácido ascórbico} \left(\frac{mg}{100mL} \right) = \frac{A \times 1000}{B \times C}$$

Donde:

A = mL de 2,6 Diclorofenol Indofenol

B = Peso de la muestra

C = Factor de corrección del 2,6 Diclorofenol Indofenol

3.5 Procesamiento y análisis de los datos

Para los diseños experimentales, se realizó análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar las posibles variaciones y las interacciones entre los factores. De existir diferencias entre los promedios, se realizó el test de comparación múltiple (Tukey) a 5% de significancia (Alves Nogueira *et al.*, 2013).

3.6 Aspectos éticos

La información recolectada y generada en el presente trabajo de investigación se obtuvo directamente de fuentes científicas, siendo procesadas de manera responsable, seria y honesta con el objetivo de salvaguardar la integridad y confiabilidad de la misma.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Caracterización de materiales

Los frutos de *Myrciaria dubia* fueron adquiridos en el mercado de productores de la ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, región Loreto. Los resultados de la caracterización de los frutos en este estudio son mostrados en la Tabla 3, destacamos principalmente el alto contenido humedad en su estado natural (92.95%).

Tabla 3. Composición centesimal de pulpa de *Myrciaria dubia* (camu camu)

Material	Composición centesimal (%)				
	Agua	Proteína	Lípido	Ceniza	Carbohidrato(*)
Camu camu	92.95±1.60	0.45±0.05	0.52±0.05	0.23±0.03	5.85±1.65

Promedio ± desvío estadístico (n=3)

(*) Por diferencia

También fue cuantificado el contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) equivalente a 2754.33±253.48 mg/g de pulpa.

Tabla 4. Composición centesimal de goma arábica

Material	Composición centesimal (%)			
	Agua	Proteína	Ceniza	Carbohidrato (*)
Goma arábica	11.83 ± 0.35	1.02 ± 0.04	1.35 ± 0.12	85.81 ± 0.32

Promedio ± desvío estadístico (n=3)

(*) Por diferencia

La Tabla 4 muestra una fracción proteica (1.02%) razón por lo que la es ampliamente utilizada como emulsificante en la encapsulación de bioactivos especialmente utilizando secado en *spray dryer* para posterior uso en diferentes matrices alimenticias. Se atribuye la capacidad emulsificante a la fracción proteica presente en la goma arábica y en general la estabilidad de la emulsión aumenta con el aumento de la masa molar y con el contenido de proteínas presentes en la goma arábica; GA se utiliza ampliamente utilizada como estabilizador en las industrias alimentaria, farmacéutica, nutracéutica, textil y papelera, para la producción de microencapsulados (Wang, Sánchez-Soto y Abt 2016).

4.2 Caracterización de partículas de *Myrciaria dubia* (camu camu) obtenido por *spray dryer* con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro.

La Tabla 5 muestra la composición de las partículas de *Myrciaria dubia* (camu camu) donde la interacción de los tres factores (temperatura, velocidad de giro, goma arábica) son importantes para obtener un producto de buena calidad, finalmente el producto obtenido es almacenado a temperatura ambiente.

Tabla 5. Composición centesimal (%) de partículas de *Myrciaria dubia* (camu camu) por *spray drying* con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro.

N°	T (°C)	Goma arábica (%)	Velocidad de giro (rpm)	Humedad	Ceniza	Grasa	Proteína	Carbohidratos (*)
1	190	4	10000	4.32 ± 0.05	3.22 ± 0.08	0.30 ± 0.05	2.84 ± 0.02	89.33 ± 0.09
2	200	4	10000	4.09 ± 0.43	3.38 ± 0.10	0.30 ± 0.01	2.86 ± 0.00	89.36 ± 0.52
3	190	6	10000	4.76 ± 0.11	3.21 ± 0.30	0.34 ± 0.01	2.86 ± 0.00	88.83 ± 0.31
4	200	6	10000	4.62 ± 0.15	3.16 ± 0.05	0.31 ± 0.02	2.81 ± 0.00	89.10 ± 0.17
5	190	4	15000	4.94 ± 0.38	3.14 ± 0.04	0.35 ± 0.03	2.83 ± 0.03	89.03 ± 0.26
6	200	4	15000	4.80 ± 0.54	3.10 ± 0.08	0.31 ± 0.05	2.83 ± 0.01	88.96 ± 0.52
7	190	6	15000	4.64 ± 0.62	3.34 ± 0.10	0.24 ± 0.04	2.85 ± 0.00	88.93 ± 0.57
8	200	6	15000	5.22 ± 0.06	3.88 ± 0.17	0.24 ± 0.02	2.84 ± 0.01	88.32 ± 0.19

Promedio ± desvío estadístico (n=3)

(*) Por diferencia

4.3 Diseño experimental para la determinación de vitamina C en partículas de goma arábica por *spray drying*.

Los ensayos experimentales de secado de pulpa de *Myrciaria dubia* fueron realizados siguiendo un diseño experimental utilizando como variables independientes la temperatura de entrada al atomizador, la concentración de goma arábica en solución y velocidad de giro del aspersor. Un diseño compuesto central incluyendo 2 factoriales, 2 experimentos en condiciones axiales y 2 puntos centrales de repeticiones, totalizando 8 experimentos. La Tabla 6, muestra los experimentos, para estudiar los efectos de la temperatura del aire de entrada del secador (190–200 °C), la concentración del material de cobertura (4 y 6%) y la velocidad de giro el aspersor (rpm). La variable de respuesta, considerada es la cantidad de vitamina C. La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) utilizando el modelo Box-Behnken y el programa Statistica

Software Versión 6.0, se determinó la superficie de respuesta de la cantidad de vitamina C. Se realizó el ANOVA para la evaluación de las posibles interacciones entre los factores y se determinaron los valores óptimos de los factores por el análisis de superficie de respuesta que maximicen el secado.

Se utilizan varios métodos de secado para convertir soluciones de polisacáridos en forma de polvo seco. La mayoría de los métodos de secado implican eliminación del solvente por sublimación como la liofilización o evaporación tal como secado por pulverización o precipitación como la tecnología de fluidos supercríticos. Entre estos métodos, el secado por pulverización y la liofilización son las técnicas industriales de secado más utilizados de soluciones de polímeros (Zafisah et al. 2018). El secado por pulverización es el proceso industrial más utilizado, en la que una sustancia líquida se transforma en materia seca. Los polímeros deshidratados por pulverización se almacenan, transportan y se rehidratan con mayor facilidad (Salminen et al. 2019).

La Tabla 6 muestra los resultados de los tratamientos según el modelo estadístico propuesto, la mayor concentración de **vitamina C** se obtuvo de los tratamientos 5 y 6, ambos tratamientos tienen las mismas cantidades de encapsulante y la misma velocidad de giro del aspersor, solamente varía la temperatura de operación.

Tabla 6. Diseño experimental para la determinación de vitamina C en partículas conteniendo *Myrciaria dubia* (camu camu) por *spray drying* con variación de temperatura, goma arábica y velocidad de giro.

N°	Temperatura de entrada (°C)	Goma arábica (%)	Velocidad de giro (rpm)	Vitamina C (mg/100g muestra)
1	190	4	10000	21125.69 ± 64.42
2	200	4	10000	21267.54 ± 13.38
3	190	6	10000	21457.18 ± 96.06
4	200	6	10000	21493.73 ± 79.61
5	190	4	15000	26175.00 ± 27.75
6	200	4	15000	25784.84 ± 95.40
7	190	6	15000	21197.47 ± 25.34
8	200	6	15000	21495.97 ± 18.70

Las variables independientes corresponden a los valores reales. Temperatura del aire de entrada (°C); Goma arábica (5) y velocidad de giro (rpm). Vitamina C representan valores de tres determinaciones.

Los valores más altos de vitamina C son de 26175.00 mg/100 g de muestra y 25784.84 mg/100 g de muestra con temperaturas de entrada de 190 °C y 200°C respectivamente, con temperatura de salida de 100 °C. El contenido final de vitamina C 26175.00 mg/100 g de polvo seco obtenido con goma arábica es superior al atomizado por Gonzales (2017) quien empleo maltodextrina como encapsulante que tuvo el valor más alto es de 18937.00 mg /100 g de pulpa con una temperatura de operación de 195 °C de entrada del producto y 90 °C como temperatura de salida, el contenido final de humedad fue de 3.87 %.

La diferencia de contenidos de vitamina C es un indicador de que la goma arábica es un encapsulante que protege mejor el compuesto activo de la fruta *Myrciaria dubia* (camu camu) con más eficacia.

4.4 Análisis microbiológico de partículas conteniendo *Myrciaria dubia* (camu camu) por *spray drying*.

Tabla 7. Resultados microbiológicos en MPGA conteniendo *Myrciaria dubia* (camu camu) por *spray drying*.

Ensayos microbiológicos	Resultados
Mohos (UFC/g)	10
Levadura (UFC/g)	<10
E. coli (NMP/g)	0
Salmonela	Ausencia en 25 g

La Tabla 7 muestra que los resultados de los análisis microbiológicos están dentro de los parámetros establecidos para este tipo de productos.

4.4 Análisis estadístico

Tabla 8: Resultado de análisis estadístico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	65055858	9293694	594.46	0.000
Lineal	3	40654520	13551507	866.81	0.000
Temperatura (°C)	1	2014	2014	0.13	0.729
Goma arábica (%)	1	18973495	18973495	1213.63	0.000
Rev. Por minuto (RPM)	1	21679011	21679011	1386.68	0.000
Interacciones de 2 términos	3	24244935	8081645	516.94	0.000
Temperatura (°C) * Goma arábica (%)	1	84206	84206	5.39	0.049
Temperatura (°C) * Rev. Por minuto (RPM)	1	17830	17830	1.14	0.317
Goma arábica (%) * Rev. Por minuto (RPM)	1	24142900	24142900	1544.28	0.000
Interacciones de 3 términos	1	156402	156402	10.00	0.013
Temperatura (°C)* Goma arábica (%) * Rev. Por minuto (RPM)	1	156402	156402	10.00	0.013
Error	8	125070	15634		
Total	15	65180927			

En el secado por el método de atomización empleando goma arábica como encapsulante, para la obtención de vitamina C como respuesta muestran que los factores goma arábica y revoluciones por minuto muestran $p < 0.05$. Con base en el análisis de varianza (ANOVA) los coeficientes de las variables independientes y todas las interacciones entre ellas fueron significativas, a excepción del factor Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

La ecuación que representa la relación entre el contenido de vitamina C y los factores independientes para los tratamientos del secado por aspersión, X_1 (Temperatura $^{\circ}\text{C}$), X_2 (velocidad de giro rpm) y X_3 (Concentración de goma arábica %), está determinada por la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Vitamina C (\%)} = & -97783 + 457 \text{ Temperatura } (^{\circ}\text{C}) + 21503 \text{ Goma arábica (\%)} + \\ & 11.15 \text{ velocidad de giro (RPM)} - 84.4 \text{ Temperatura } (^{\circ}\text{C}) * \text{ Goma} \\ & \text{arábica (\%)} - 0.0422 \text{ Temperatura } (^{\circ}\text{C}) * \text{ velocidad de giro (RPM)} \\ & - 2.034 * \text{ Goma arábica (\%)} * \text{ velocidad de giro (RPM)} + 0.00791 \\ & \text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) * \text{ Goma arábica (\%)} * \text{ velocidad de giro (RPM)}. \end{aligned}$$

La Figura 2 muestra como se aprecia en el valor 2.31 tiene la función de ser la línea que divide al gráfico en dos partes, los efectos situados a su lado izquierdo no son significativos para el proceso y los ubicados al lado derecho si intervienen en el proceso en mayor o menor grado. Los efectos principales: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Goma arábica (%) y velocidad de giro (RPM) miden como afecta cada factor en la concentración final del ácido ascórbico (vitamina C).

En forma individual el factor que influye más es la velocidad de giro (RPM) del aspersor, seguido del encapsulante goma arábica, en la interacción de dos factores se tiene que la goma arábica con la velocidad de giro son los que

gobiernan el proceso de secado por atomización y en menor grado de acción se encuentra la interacción de la temperatura con la goma arábica, finalmente las interacciones de los tres factores también influyen en el proceso, pero con menor participación.

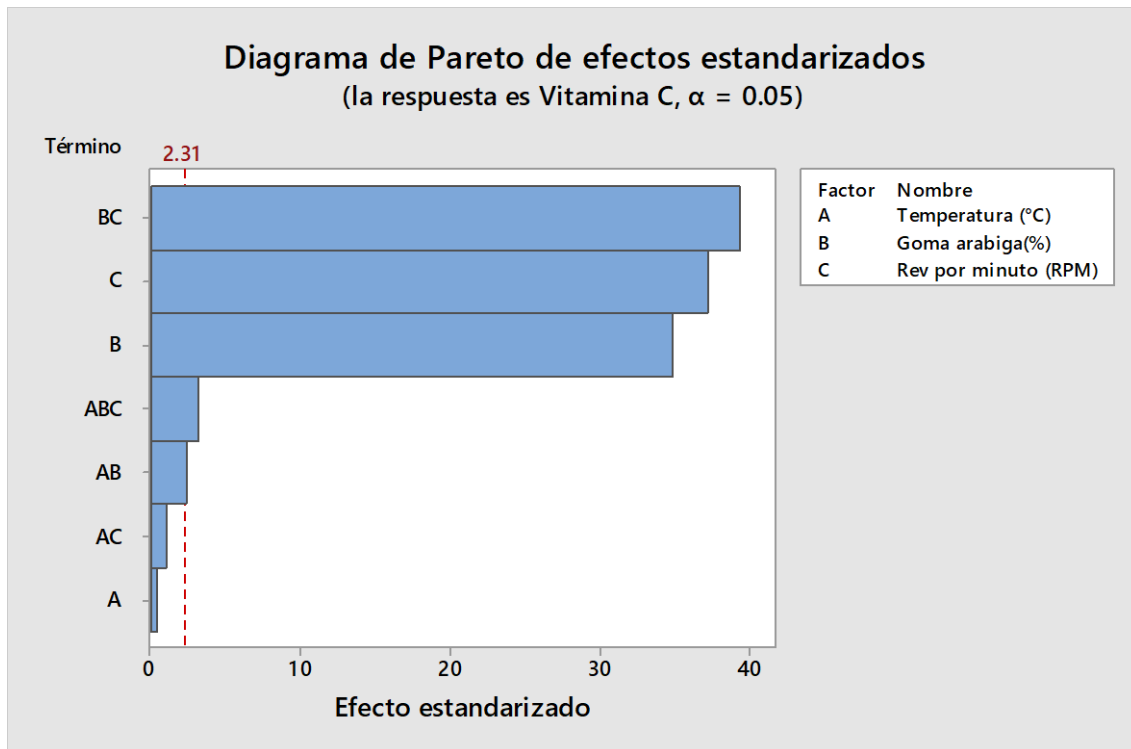


Figura 2. Análisis de Pareto

La Figura 3, muestra por segmentos de colores la interacción de dos de los factores independientes que tienen más presencia en el proceso de atomización que son la velocidad de giro (RPM) y la concentración de goma arábica (%) sobre la concentración final de vitamina C. La figura muestra que cuanto más aumentamos la concentración de goma arábica menor es la concentración de vitamina C y cuando interactúan el incremento de vitamina C se evidencia al aumentar la velocidad de giro del aspersor (RPM), indicando que a un 4 % de goma arábica y velocidades de giro del aspersor superiores a 14000 RPM la cantidad de vitamina C será superior a los 25000 mg/100 g de muestra atomizada de *Myrciaria dubia* (camu camu).

Gráfica de contorno de Vitamina C vs. Rev por minuto (RPM), Goma arabi

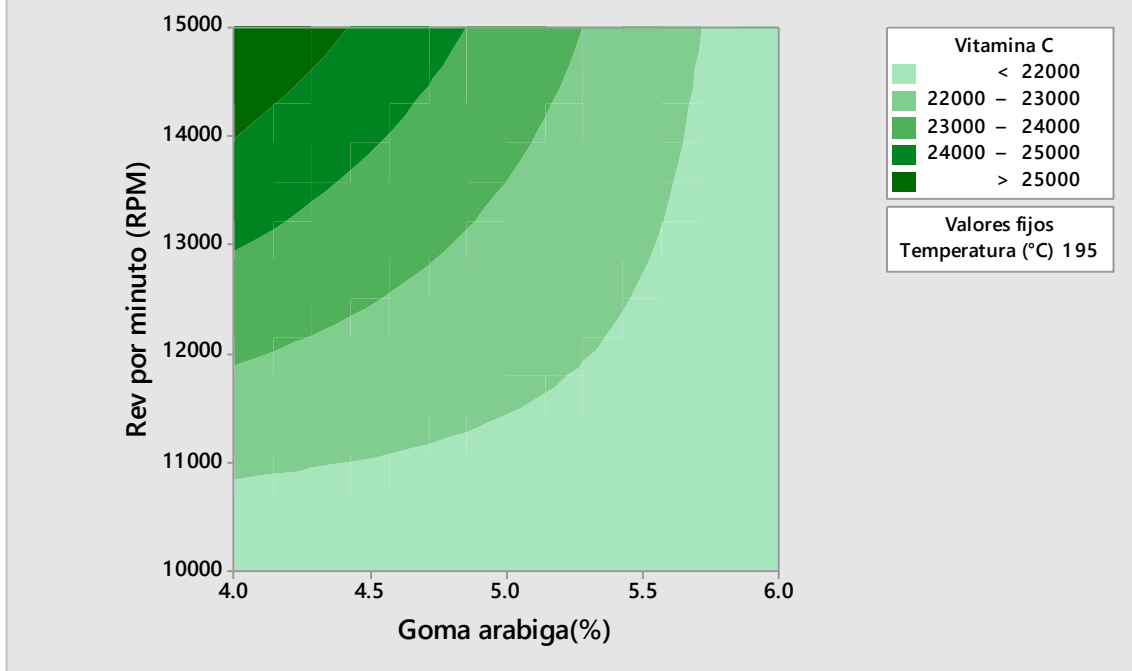


Figura 3. Gráfica de contorno

La Figura 4, nos presenta una gráfica tridimensional de superficie de respuesta donde se ve la interacción de la temperatura (°C) Vs. Velocidad de giro (RPM), la figura indica que a manteniendo una velocidad de giro de 15000 RPM y disminuyendo la temperatura máxima de 200 °C a 190 °C se obtiene un contenido de vitamina C máximo de 26175.00 mg/100 g de polvo seco de *Myrciaria dubia* (camu camu).

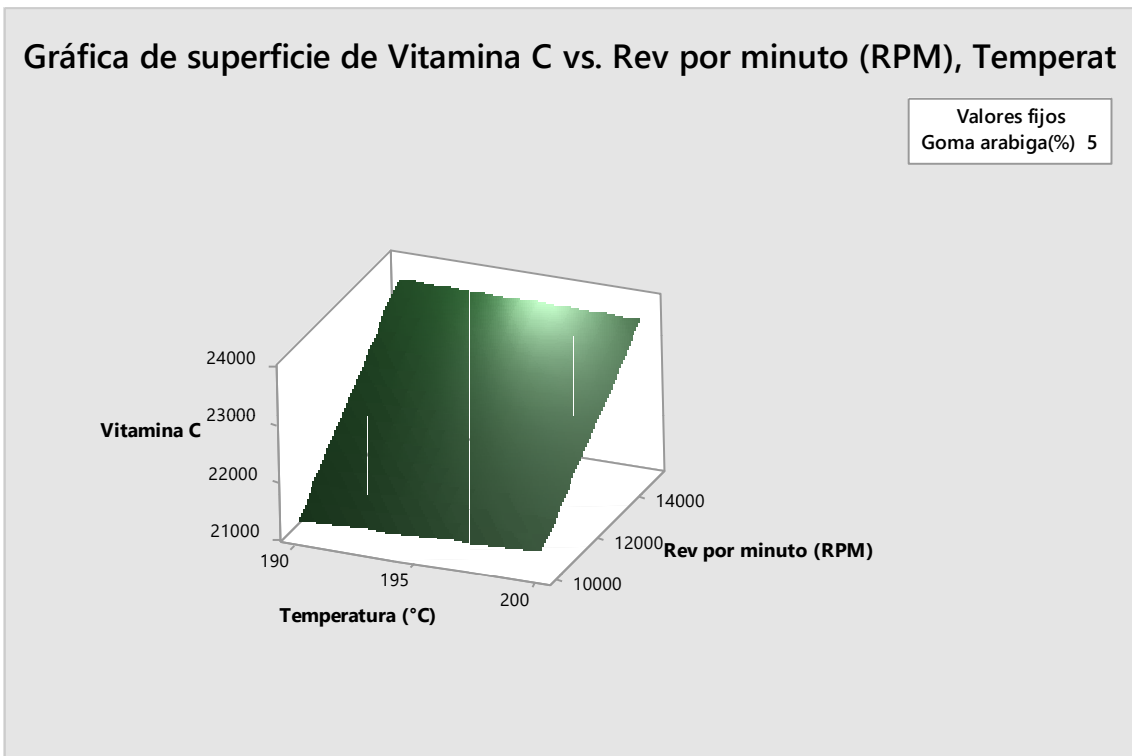


Figura 4: Superficie de repuesta de la temperatura °C Vs. Velocidad de giro del aspersor (RPM).

4.5 Balance de materia para el proceso de atomización.

Siguiendo el diagrama de flujo establecido para este proceso, realizamos un balance con los mejores tratamientos obtenidos:

En la Tablas 9 y 10, Balance de materia de la pulpa de *Myrciaria dubia* (camu camu) con goma arábica al 4 % y 6% respectivamente como encapsulante. Para todos los tratamientos realizados se utilizó siempre 17.00 kg de fruta fresca, para seguir luego con las diferentes etapas de acondicionamiento para su conversión en polvo. Una de las etapas más importantes es la del pulpeado, porque ahí se eliminan las partículas sólidas quedando solamente la pulpa totalmente diluida y que causara una obstrucción del disco aspersor.

La siguiente etapa del homogenizado también es muy importante porque además de agregar el encapsulante goma arábica tenemos que diluir un poco a

la pulpa hasta llegar a una densidad cercana a la del agua para una correcta atomización.

La diferencia es pequeña comparando los volúmenes de operación en ambas concentraciones, el efecto se verá reflejado en la rapidez de entrada de fluido al equipo atomizador. El equipo secador spray tiene una capacidad para atomizar 60 L/h con una velocidad de giro del aspensor de 10000 RPM, 80 L/h con una velocidad de giro del aspensor de 12500 RPM y 100 L/h con una velocidad de giro del aspensor de 15000 RPM (en las condiciones de la investigación).

Tabla 9. Balance de materia del fruto de *Myrciaria dubia* (camu camu) con 4% de goma arábica como encapsulante.

SELECCIÓN/CLASIFICACIÓN			
A:	Materia prima que ingresa	17	kg
B:	Perdidas en operación (8%)	1.36	kg
C:	Materia a usar	15.64	kg
LAVADO			
C:	Materia a usar	15.64	kg
D:	Agua de lavado (1/1)	15.64	kg
F:	Impurezas (2%)	0.31	kg
E:	materia lavada	15.33	kg
PULPEADO			
E:	Materia lavada	15.33	kg
G:	Semillas, cascara (55%)	8.43	kg
H:	Pulpa final (45%)	6.90	kg
HOMOGENIZADO			
H:	Pulpa final	6.90	kg
I:	agua (1:2)	13.79	kg
	Encapsulante Goma arábica (4 %)	0.28	kg
	Total I:	14.07	kg
J:	Jugo estabilizado	20.97	kg
ATOMIZACIÓN			
J:	Jugo estabilizado	20.97	kg
K:	Agua eliminada (94 % del jugo estabilizado)	19.71	kg
L:	Producto seco (con 5 % de humedad final)	1.26	kg

Tabla 10. Balance de materia del fruto de *Myrciaria dubia* (camu camu) con 6% de goma arábica como encapsulante.

SELECCIÓN/CLASIFICACIÓN			
A:	Materia prima que ingresa	17	kg
B:	Perdidas en operación (8%)	1.36	kg
C:	Materia a usar	15.64	kg
LAVADO			
C:	Materia a usar	15.64	kg
D:	Agua de lavado (1/1)	15.64	kg
F:	Impurezas (2%)	0.31	kg
E:	materia lavada	15.33	kg
PULPEADO			
E:	Materia lavada	15.33	kg
G:	Semillas, cascara (55%)	8.43	kg
H:	Pulpa final (45%)	6.90	kg
HOMOGENIZADO			
H:	Pulpa final	6.90	kg
I:	agua (1:2)	13.79	kg
	Encapsulante Goma arábica (6 %)	0.41	kg
	Total I:	14.21	kg
J:	Jugo estabilizado	21.11	kg
ATOMIZACIÓN			
J:	Jugo estabilizado	21.11	kg
K:	Agua eliminada (94 % del jugo estabilizado)	19.84	kg
L:	Producto seco (con 5 % de humedad final)	1.27	kg

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Los factores individuales que tuvieron más presencia durante el proceso de atomización fueron la velocidad de giro del aspersor (RPM) y el encapsulante goma arábica (%), este mismo efecto observo Gonzales (2017) quien reporto que variando el diámetro de orificio del disco aspersor de 2.5 mm a 4.0 mm había una disminución de la vitamina C de la pulpa atomizada de camu camu empleando maltodextrina como encapsulante y experimentando con temperaturas de 195 °C a 200 °C.

El mayor contenido final de vitamina C fue de 26372.81 mg/100 g de muestra y se obtuvo a una concentración de goma arábica del 4% superior al reportado por Gonzales (2017) que fue de 18,937 mg /100 g de pulpa empleando una concentración de 8% de maltodextrina, este contraste en cantidades de encapsulante indica que la goma arábica es más efectiva en conservar mejor la vitamina C del deterioro producido por efecto de la alta temperatura.

López *et al* (2009) hizo una disolución de goma arábica-maltodextrina al 37% como encapsulantes para atrapar el aceite de semillas de *Curcubita pepo* L logrando un rendimiento del 90 % confirmando que la goma arábica es un buen agente protector aun en sustancias oleaginosas.

La vitamina C por ser termo sensible se debe tener cuidado con las temperaturas de operación y el encapsulante a usar, coincidiendo con González *et al*, (2011) quienes emplearon goma arábica para encapsular compuestos volátiles del jugo de sandía para luego atomizarla considerando temperatura de 190 °C y 25000 RPM de velocidad de giro logrando su objetivo, coincidiendo en que están relacionados los factores de temperatura y velocidad de giro del aspersor en un proceso de atomización.

En el rendimiento del proceso (masa de producto seco) de atomización coincidimos con Cahuaya (2017) quien indica que el polvo atomizado del jugo de naranja aumenta al incrementarse la concentración de encapsulante, lo cual es cierto puesto que cualquier encapsulante contribuye en el incremento de sólidos de la solución de jugo inicial y este variara según el porcentaje empleado de encapsulante.

El contenido de vitamina C final en el polvo atomizado de camu camu en la presente investigación es de 26372.81 mg/100 g de muestra muy superior al reportado por García (2019) que determino 13157.6 mg/100g de polvo seco de camu camu, se comprende este resultado por que empleó un porcentaje del 7 % de goma arábica (casi el doble de nuestra investigación) y temperatura de operación de 188 °C, y según nuestro análisis a mayor contenido de encapsulante menor será el contenido vitamina C en el polvo atomizado.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

La goma arábica actúo como agente protector eficiente de vitamina C presente en partículas conteniendo *Myrciaria dubia* (camu camu) reportando 26372.81 mg/100 g de muestra.

Las temperaturas de operación seleccionadas 190 a 200 °C son las adecuadas para el atomizado de *Myrciaria dubia* (camu camu), mostrando mayor rendimiento a 190 °C y de acuerdo al análisis de varianza este factor por sí solo no ejerce diferencia significativa durante el proceso de atomización.

A mayor concentración de encapsulante mayor rendimiento de partículas.

Mayor temperatura (200 °C) y menor velocidad de giro (10000 RPM) incrementa residuos y menores valores de vitamina C, probablemente, por el incremento de temperatura.

A mayor velocidad de giro y menor concentración de encapsulante, mayor contenido de vitamina C en partículas de *Myrciaria dubia* (camu camu).

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios de atomizado con otros tipos de encapsulantes, debido a amplia variedad.
- Realizar estudios para el empleo de este polvo atomizado en la elaboración de refrescos energizantes.
- Realizar estudios de empaçados y almacenado para este tipo de producto.
- Realizar estudio de pre-factibilidad en la ciudad de Iquitos sobre los frutos de la amazonia dando valor agregado, mostrando como un producto representativo a *Myrciaria dubia* (camu camu).

CAPÍTULO VII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- AKTER, M.S., OH, S., EUN, J.B. y AHMED, M., 2011. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*myrciaria dubia*) fruit: A review. *Food Research International*, vol. 44, no. 7, pp. 1728-1732. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2011.03.045.
- ALMEIDA, M., ERTHAL, R., PADUA, E., SILVEIRA, L. y AM, L., 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, vol. 76, pp. 965-977. DOI 10.1016/j.talanta.2008.05.019.
- AMERI, M. y MAA, Y.F., 2006. Spray drying of biopharmaceuticals: Stability and process considerations. *Drying Technology*, vol. 24, no. 6, pp. 763-768. ISSN 07373937. DOI 10.1080/03602550600685275.
- ANUONYE, J.C., 2012. Some functional properties of extruded acha / soybean blends using response surface analysis. *African Journal of Food Science*, vol. 6, no. 10, pp. 269-279. DOI 10.5897/AJFS12.001.
- AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis AOAC International 1990*. 1990. S.I.: s.n.
- AOAC, 2012. *Official methods of analysis of AOAC International*. 2012. S.I.: s.n. ISBN 0935584544.
- AREPALLY, D. y GOSWAMI, T.K., 2019. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 99, pp. 583-593. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2018.10.022.
- ARPAGAUS, C., 2012. A Novel Laboratory-Scale Spray Dryer to Produce Nanoparticles. *Drying Technology*, vol. 30, no. 10, pp. 1113-1121. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373937.2012.686949.
- AVILA-SOSA, R., MONTERO-RODRÍGUEZ, A.F., AGUILAR-ALONSO, P., VERA-LÓPEZ, O., LAZCANO-HERNÁNDEZ, M., MORALES-MEDINA, J.C. y NAVARRO-CRUZ, A.R., 2019. Antioxidant Properties of Amazonian Fruits: A Mini Review of in Vivo and in Vitro Studies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, vol. 2019. ISSN 19420994. DOI 10.1155/2019/8204129.
- BAKRY, A.M., ABBAS, S., ALI, B., MAJEED, H., ABOUELWAFI, M.Y., MOUSA,

- A. y LIANG, L., 2016. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 15, no. 1, pp. 143-182. ISSN 15414337. DOI 10.1111/1541-4337.12179.
- BOURDOUX, S., LI, D., RAJKOVIC, A., DEVLIEGHERE, F. y UYTENDAELE, M., 2016. Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 15, pp. 1056-1066. DOI 10.1111/1541-4337.12224.
- CASTAÑÓN-RODRÍGUEZ, J.F., URESTI-MARÍN, R.M., SOTO GÓMEZ, M.G., SANTIAGO-ADAME, R. y ORTIZ-BASURTO, R.I., 2020. Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *CYTA - Journal of Food* [en línea], vol. 18, no. 1, pp. 195-202. ISSN 19476345. DOI 10.1080/19476337.2020.1728388. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>.
- DA SILVA, F.C., ARRUDA, A., LEDEL, A., DAUTH, C., ROMÃO, N.F., VIANA, R.N., DE BARROS FALCÃO FERAZ, A., PICADA, J.N. y PEREIRA, P., 2012. Antigenotoxic effect of acute, subacute and chronic treatments with Amazonian camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice on mice blood cells. *Food and Chemical Toxicology*, vol. 50, no. 7, pp. 2275-2281. ISSN 02786915. DOI 10.1016/j.fct.2012.04.021.
- DAVIS, M. y WALKER, G., 2018. Recent strategies in spray drying for the enhanced bioavailability of poorly water-soluble drugs. *Journal of Control Release*, vol. 269, no. November 2017, pp. 110-127.
- FUJITA, A., SOUZA, V.B., DAZA, L.D., FÁVARO-TRINDADE, C.S., GRANATO, D. y GENOVESE, M.I., 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*, vol. 82, no. 5, pp. 1083-1091. ISSN 17503841. DOI 10.1111/1750-3841.13668.
- GABAS, A.L., TELIS-ROMERO, J., GIRALDO-GÓMEZ, G.I. y TELIS, V.R.N., 2009. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 29, no. 4, pp. 911-918. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/s0101-20612009000400032.

- GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A. y SAUREL, R., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients : An overview. *Food Research International*, vol. 40, pp. 1107-1121. DOI 10.1016/j.foodres.2007.07.004.
- GIBBS, B.F., KERMASHA, S., ALLI, I. y MULLIGAN, C.N., 1999. Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 50, pp. 213-224.
- JONES, O.G. y MCCLEMENTS, D.J., 2011. *Recent progress in biopolymer nanoparticle and microparticle formation by heat-treating electrostatic protein-polysaccharide complexes*. 2011. S.I.: Elsevier B.V.
- KHAIRULLAH, N., PING, C., ABD, Y., ALHELLI, A.M., SHOBIRIN, A. y HUSSIN, M., 2017. Process conditions of spray drying microencapsulation of *Nigella sativa* oil. *Powder Technology* [en línea], vol. 315, pp. 1-14. ISSN 0032-5910. DOI 10.1016/j.powtec.2017.03.045. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2017.03.045>.
- KHAN, I.T., NADEEM, M., IMRAN, M., ULLAH, R., AJMAL, M. y JASPAL, M.H., 2019. Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*, vol. 18, no. 1, pp. 1-13. ISSN 1476511X. DOI 10.1186/s12944-019-0969-8.
- LOZANO, M., 2009. *OBTENCIÓN DE MICROENCAPSULADOS FUNCIONALES DE ZUMO DE Opuntia stricta MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN*. S.I.: s.n.
- MANELA-AZULAY, M., LIMA FILGUEIRA, A., MANDARIM-DE-LACERDA, C.A., CUZZI, T. y DE ANDRADE PEREZ, M., 2003. Vitamina C. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, vol. 78, no. 3, pp. 265-272. ISSN 03650596. DOI 10.1590/s0365-05962003000300002.
- MARTIN, M.J., MORALES, M.E., GALLARDO, V. y RUIZ, M.A., 2009. Técnicas de microencapsulación: Una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica*, vol. 50, no. 1, pp. 43-50. ISSN 00042927.
- MCCLEMENTS, D.J., 2017. Recent progress in hydrogel delivery systems for improving nutraceutical bioavailability. *Food Hydrocolloids*, ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2016.05.037.

- NEVES, L.C., DA SILVA, V.X. da, PONTIS, J.A., FLACH, A. y ROBERTO, S.R., 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh] fruits. *Scientia Horticulturae*, vol. 186, pp. 223-229. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2015.02.031.
- PARETA, R.A., MCQUILLING, J.P., FARNEY, A.C. y OPARA, E.C., 2014. *Microencapsulation Technology* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-398523-1.00043-4>.
- PARRA, R./U.N. del C., 2011. Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Open Journal Systems* [en línea], vol. 63, no. 2, pp. 37055. ISSN 0304-2847. DOI 0304-2847. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055/37055>.
- PATEL, S. y GOYAL, A., 2015. Applications of Natural Polymer Gum Arabic: A Review. *International Journal of Food Properties*, vol. 18, pp. 986-998. DOI 10.1080/10942912.2013.809541.
- REINECCIUS, G., 1989. Flavor Encapsulation. *Food Reviews International*, vol. 5, no. 2, pp. 147-176.
- ROCHA, J., DE BARROS, F., PERRONE, Í., VIANA, K., TAVARES, G., STEPHANI, R. y STRINGHETA, P.C., 2019. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. *Powder Technology*, vol. 343, pp. 317-325.
- SALMINEN, H., ANKENBRAND, J., ZEEB, B., BADOLATO BÖNISCH, G., SCHÄFER, C., KOHLUS, R. y WEISS, J., 2019. Influence of spray drying on the stability of food-grade solid lipid nanoparticles. *Food Research International*, vol. 119, pp. 741-750. ISSN 18737145. DOI 10.1016/j.foodres.2018.10.056.
- SANCHEZ, C., NIGEN, M., MEJIA TAMAYO, V., DOCO, T., WILLIAMS, P., AMINE, C. y RENARD, D., 2018. Acacia gum: History of the future. *Food Hydrocolloids*, vol. 78, pp. 140-160. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2017.04.008.
- SANGUANSRI, M.A.A. and L., 2018. Encapsulation of Bioactives. *Food Research International*. S.l.: s.n., pp. 173-182.

- SHIBAKAMI, M., TSUBOUCHI, G., SOHMA, M. y HAYASHI, M., 2015. Preparation of transparent self-standing thin films made from acetylated euglenoid β -1,3-glucans. *Carbohydrate Polymers*, vol. 133, pp. 421-428. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2015.06.104.
- SINGH, S. y DIXIT, D., 2014. A Review on Spray Drying: Emerging Technology in Food Industry. *International Journal of Applied Engineering and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 1-8.
- WANG, L., SÁNCHEZ-SOTO, M. y ABT, T., 2016. Properties of bio-based gum Arabic/clay aerogels. *Industrial Crops and Products*, vol. 91, pp. 15-21.
- WANG, Y. y SELOMULYA, C., 2020. Spray drying strategy for encapsulation of bioactive peptide powders for food applications. *Advanced Powder Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 409-415. ISSN 15685527. DOI 10.1016/j.appt.2019.10.034.
- WILLIAMS, P.A., 2016. Polysaccharide Ingredients: Gum Arabic. *Reference Module in Food Science*, pp. 1-6. DOI 10.1016/b978-0-08-100596-5.03254-6.
- YE, Q., GEORGES, N. y SELOMULYA, C., 2018. Microencapsulation of active ingredients in functional foods : From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 78, no. January, pp. 167-179.
- ZAFISAH, N.S., YUSOF, Y.A., ALI, M.A., ROSLAN, N.S., TAHIR, A., AZIZ, M.G. y CHIN, N.L., 2018. Processing of raw coconut milk for its value addition using spray and freeze drying techniques. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 41, no. 1, pp. 1-12. ISSN 17454530. DOI 10.1111/jfpe.12602.
- ZHANG, Z., YU, Y. xiang, WANG, Y. geng, WEI, X. xian, LIAO, M. jie, RONG, X. jun y CHEN, J., 2020. Development of a new protocol for freeze-drying preservation of *Pseudoalteromonas nigrifaciens* and its protective effect on other marine bacteria. *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 44, pp. 1-5. ISSN 07173458. DOI 10.1016/j.ejbt.2019.12.006.
- ZHANG, Z., ZHANG, R., CHEN, L., TONG, Q. y MCCLEMENTS, D.J., 2015. Designing hydrogel particles for controlled or targeted release of lipophilic

bioactive agents in the gastrointestinal tract. *European Polymer Journal*, vol. 72, pp. 698-716. ISSN 00143057. DOI 10.1016/j.eurpolymj.2015.01.013.

ZHU, F., 2017. Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. *Food Chemistry*, vol. 229, pp. 542-552.

ANEXOS

Pasos para la obtención de polvo atomizado de *Myrciaria dubia*
(camu camu)



Transporte



Recepción /lavado



Desinfección



Pulpeado /refinado





Acondicionamiento de la pulpa



Atomizado





