

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**CRIOCONCETRACIÓN EN BLOQUE ASISTIDA POR CENTRIFUGACIÓN
REFRIGERADA APLICADA AL JUGO DE JAMBOLÁN (*SYZYGium CUMINI*).**

POR:

LUIS FERNANDO ELVIR OLIVA

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

ABRIL, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**CRIOCONCETRACIÓN EN BLOQUE ASISTIDA POR CENTRIFUGACIÓN
REFRIGERADA APLICADA AL JUGO DE JAMBOLÁN (*SYZYGIUM CUMINI*).**

POR:

LUIS FERNANDO ELVIR OLIVA

**M. Sc. ZOILA FLORES
Asesor Principal**

TESIS

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, CA

ABRIL, 2025

DEDICATORIA

A Dios

Por siempre estar conmigo en todas las etapas de mi vida cuidándome y guiándome siempre por el buen camino y darme la oportunidad de poder salir adelante.

A mis padres

Dedicado a mi madre Eva Oliva porque siempre ha estado conmigo brindándome su apoyo, cariño y sus valiosos consejos y guiarme para ser un hombre de bien y enseñándome a nunca rendirme y siempre seguir adelante a pesar de adversidades que se presenten.

Dedicado también a mi padre Carlos Elvir gracias por siempre apoyarme a cumplir mis sueños, brindándome consejos valiosos para seguir adelante y nunca rendirme, también por enseñarme a saber valorar y aprender a ganarme las cosas con esfuerzo y dedicación.

A mi hermana Karla Elvir mi hermana menor que siempre me ha brindado su cariño y apoyo espero algún día ella también pueda cumplir sus sueños.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios por haber permitido que cumpla con éxito este trabajo de investigación, por darme la fuerza para no rendirme en todo el trayecto de mi carrera que gracias a ello estoy finalizando mi tesis.

En primer lugar, agradecer a mi asesor principal de tesis M.Sc. Zoila Flores, por su valiosa orientación, dedicación y rigor impuesto a lo largo de este proyecto. Su experiencia y sabiduría fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de esta investigación. Así como la de mis asesores auxiliares Ing. Danelia Medina y M.Sc. Loren Macías por su apoyo y consejos.

Quiero agradecerle a la Doctora Isis Aceituno ella es una de las encargadas del laboratorio de química de la UNAG, que siempre me apoyo con sus conocimientos y con su valioso tiempo para poder desarrollar mi trabajo de investigación fue una pieza muy importante en esta etapa de mi vida.

Quiero agradecer a mis compañeros y amigos que conocí en la Universidad por siempre brindarme ese gran apoyo y poder salir adelante hasta culminar nuestra carrera universitaria juntos.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
II.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	Objetivo general.....	3
2.2.	Objetivos específicos	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1.	Origen de Jambolan (<i>Syzygium Cumini</i>).....	4
3.2.	Descripción botánica.....	4
3.2.1.	Árbol.....	4
3.2.2.	Las hojas	5
3.2.3.	Los frutos.....	5
3.3.	Propiedades del Jambolan.....	6
3.4.	Beneficios del jambolan.....	7
3.5.	Aplicaciones y usos del jambolan.....	7
3.6.	Técnicas de concentración de fluidos alimentarios	8
3.6.1.	Crioconcentración.....	8
3.7.	Propiedades básicas del proceso de crioconcentración.....	8
3.7.1.	Punto de congelación.....	9
3.7.2.	Viscosidad	9
3.7.3.	Conductividad térmica.....	9
3.7.4.	Calor específico	10
3.8.	Etapas en el proceso de crioconcentración	10
3.8.1.	Congelación.....	10
3.8.2.	Cristalización.....	11
3.8.3.	Nucleación.....	12
3.8.4.	Crecimiento de los cristales de hielo	12
3.8.5.	Separación	12

3.9.	Sistemas de crioconcentración	13
3.9.1.	Sistemas directos	13
3.9.2.	Sistemas Indirectos	13
3.10.	Aplicaciones de la crioconcentración en la industria alimentaria	16
IV.	METODOLOGÍA.....	18
4.1.	Lugar de investigación.....	18
4.2.	Materia prima.....	18
4.3.	Metodología	19
4.3.1.	Descripción de las etapas a desarrollar.....	19
4.3.1.1.	Elaboración de jugo a partir del fruto jambolan (<i>syzyguim cumini</i>) .	19
4.3.1.2.	Implementación de la técnica de crioconcentración en bloque al jugo jambolan	19
4.3.1.2.1.	Bloque 1	19
4.3.1.2.2.	Bloque 2	20
4.3.1.2.3.	Bloque 3	21
4.3.1.3.	Análisis fisicoquímicos	21
4.3.1.3.1.	Medición de pH.....	22
4.3.1.3.2.	Medición de solidos solubles	22
4.3.1.3.3.	Medición de color.....	22
4.3.1.3.4.	Ecuaciones para determinación de parámetros de color	22
4.3.1.4.	Índice de concentración.....	23
4.3.1.5.	Porcentaje de recuperación de sólidos (Y%).....	23
4.3.1.6.	Eficiencia del concentrado	24
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1.	Etapas desarrolladas en la investigación	25
5.1.1.	Elaboración de jugo a partir del fruto jambolan (<i>syzyguim cumini</i>).....	25
5.1.2.	Implementación de la técnica de crioconcentración en bloque al jugo jambolan	26

5.1.3. Índice de concentración	29
5.1.4. Porcentaje de recuperación de sólidos (Y%)	29
5.1.5. Eficiencia del concentrado.....	29
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES	32
VIII. BIBLIOGRAFÍA	33
IX. ANEXOS	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional jambolan.....	6
Tabla 2. Análisis químicos al jugo de jambolan inicial.....	25
Tabla 3. Análisis de color al jugo de jambolan inicial	25
Tabla 4. Análisis químicos al jugo de jambolan crioconcentrado	27
Tabla 5. Análisis de color al jugo de jambolan crioconcentración.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fruta Jambolan.....	5
Figura 2. Proceso de Crioconcentración.....	11
Figura 3. Universidad Nacional de Agricultura	18
Figura 4. Jugo Crioconcentrado y agua extraída.....	27

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Fruta de Jambolan.....	37
Anexo 2. Proceso de crioconcentración	37
Anexo 3. Jugo inicial y jugo crioconcentrado	38
Anexo 4. Análisis químicos.....	39

Elvir Oliva, Luis Fernando (2025). Crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada aplicada al jugo de jambolan (*Syzygium Cumini*). Trabajo profesional supervisado por tesis de grado ingeniería en Tecnología Alimentaria, Facultad de Ciencias Tecnológicas, Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras, CA. 39 pp

RESUMEN

La crioconcentración, es una técnica que permite la conservación de alimentos líquidos preservando los compuestos bioactivos sensibles al calor y la eliminación de agua es a través de fracciones de hielo, lo que da como resultado un líquido nutricional de alta calidad. Esta investigación consiste en desarrollar un proceso de crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada para incrementar la concentración de solutos bioactivos en el jugo de jambolan (*syzygium cumini*). El proceso de crioconcentración del jugo de jambolan se dividió en tres bloques, para el primer bloque se prepararon 20 tubos de falcón, a los que se les añadió 13 ml de zumo, a continuación, las muestras se congelaron a -20 °C durante 24 horas y luego se transfirieron a una centrífuga refrigerada para separar las fracciones del hielo, este procedimiento del primer bloque se repitió también en el bloque 2 y 3, los parámetros que se analizaron al jugo jambolan inicial y crioconcentrado fueron pH y grados brix, las variables de respuesta que se midieron al jugo crioconcentrado fueron Índice de concentración(IC), porcentaje recuperación de solutos(Y%) y eficiencia de concentrado (EFF%) . Los parámetros que se obtuvieron para el jugo inicial fue un pH de 3.05 y un contenido de grados brix de 5.7 y para el jugo crioconcentrado se obtuvo un pH de 3.23 y un contenido de grados brix de 9.2 y para las variables de respuesta un IC de 1.6, una Y% de 86% y una EFF% de un 90%. De acuerdo a los resultados obtenido se puede concluir que la técnica de crioconcentración asistida por centrifugación refrigerada es una buena alternativa para poder concentrar y conservar alimentos líquidos sin dañar sus compuestos activos.

Palabras claves: bioactivos, calidad, concentración, conservación, solutos.

I. INTRODUCCIÓN

La planta jambolan (*Syzyguim cumini*) pertenece a la familia Mirtáceas y es originaria del sureste de Asia (India, Indochina) y Australia; sin embargo, se ha adaptado bien a una variedad de lugares, como el este africano, países tropicales de Suramérica, Madagascar y el sur de los Estados Unidos, también esta planta se ha adaptado en países centroamericanos entre ellos Honduras. Los frutos del árbol, llamados jambolan, tienen numerosas propiedades saludables, incluidas las propiedades antibacterianas, anti protozoarias, antivirales, anti fúngicas, antidiabéticas, antiinflamatorias, anticancerígenas y antisépticas, por su alto contenido de compuestos bioactivos donde los que más destacan son los polifenoles (Camacho Romero et al. 2016).

El jambolan es un fruto que no es muy utilizado en la industria alimentaria, entre los obstáculos para su uso como materia prima se encuentran la falta de producción a gran escala, un período de cosecha muy corto (2 meses al año), posee un sabor astringente (no muy agradable) y una alta perecibilidad, debido a que no se hace uso de métodos para poder conservar sus propiedades organolépticas por más tiempo (Alonsod et al. 2020).

La industria alimentaria ha optado por implementar técnicas de concentración, proceso que permite reducir el contenido de agua, lo que facilita su almacenamiento y transporte, además de mejorar su vida útil sin perder los beneficios nutricionales y funcionales. A través de la concentración de solutos se pueden extraer los extractos ricos en compuestos bioactivos ya sea en polvo o en líquido para incorporar a otros alimentos tales como jugos, mermeladas, yogurt y como colorante para pastelería.

Uno de los métodos más utilizados es evaporación, es una técnica donde se aplica un tratamiento térmico y el agua se elimina mediante vapor cuando el agua llega a su punto de ebullición, pero una de las desventajas de esta técnica es que la mayoría de compuestos bioactivos que contienen los alimentos son termo sensibles se volatizan o se destruyen por la aplicación de calor (Davalos et al. 2022).

Pero existe una técnica para concentrar alimentos que no es muy utilizada en la industria alimentaria la cual es la crioconcentración, que es una tecnología de alto grado de concentración que permite retener los compuestos biológicos sensibles al calor. El uso de bajas temperaturas del proceso da como resultado un líquido de alta calidad nutricional preservando sus vitaminas, minerales, compuestos activos y sus componentes aromáticos volátiles (Alonsod et al. 2020). Por lo que esta investigación tiene como objetivo implementar la técnica de crioconcentración asistida por centrifugación para poder concentrar en fracciones de hielo los solutos que contiene el jugo de jambolan.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Desarrollar un proceso de crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada para incrementar la concentración de sólidos solubles en el jugo de jambolan (*syzygium cumini*).

2.2. Objetivos específicos

- Elaborar un jugo a partir de la pulpa del fruto Jambolan (*Syzygium cumini*), para el proceso de crioconcentración.
- Aplicar la técnica de crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada para obtener el líquido concentrado de jambolan (*syzygium cumini*).
- Caracterizar el líquido concentrado de jambolan (*syzygium cumini*) mediante análisis fisicoquímicos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen de Jambolan (*Syzygium Cumini*)

El Jambolan, Jambal o ciruela de Java es una planta que pertenece a la familia Mirtáceas, nativo de diferentes países del continente asiático China, India, Indonesia y Filipinas. Cultivado y naturalizado en los países tropicales. *Syzygium* proviene del griego syzygos, unido en pares, refiriéndose a sus hojas opuestas. El epíteto específico procede del latín *cuminum*, -i = comino, porque cuando Linneo hace referencia por primera vez a esta planta bajo el género *Myrtus* en su flora zeylanica, y que más tarde nombraría en sus *Species Plantarum* como *Myrtus cumini*, decía de ella que desprendía olor a comino (Sanchez 2020).

3.2. Descripción botánica

3.2.1. Árbol

Syzygium cumini es un árbol de tamaño mediano, de 10 a 30 m de altura, con un tronco recto a torcido, corto y robusto, de 40 a 100 cm de diámetro, a veces se han reportado árboles con una circunferencia de 62,5 cm. La copa es irregular o globular con muchas ramas. Corteza de hasta 2,5 cm de espesor, de color marrón o gris oscuro, bastante lisa; Corteza interior con fina capa exterior de color verde, moteada de color marrón claro, de sabor astringente y amargo. Ramitas de color verde claro, tornándose gris claro, ligeramente aplanadas y sin pelo (Orwa C 2009).

3.2.2. Las hojas

Las hojas son enteras con margen estrecho y transparente, de 7-18 cm de largo, 3-9 cm de ancho, opuestas, gruesas, coriáceas, glabras, ampliamente obovadas, elípticas o elíptico oblongas, haz verde oscuro, envés amarillento y opaco; base cuneada o redondeada; ápice corto, redondeado u obtuso; bordes no dentados; tallo delgado y de color amarillo claro, de 1,5-2 cm de largo; nervio medio amarillo claro; venas laterales finas, muy juntas, paralelas, con muchos puntos glandulares diminutos visibles bajo una lente, rosadas cuando son jóvenes y se vuelven rojas antes de mudarse (Orwa C 2009).

3.2.3. Los frutos

Los frutos son similares a las bayas su forma puede ser ovoide o elipsoide, diámetro de 1.5 a 2.5 cm de largo, al principio cuando recién empiezan a brotar presentan un color verde, pasando a rosado y luego pasando a purpura negruzco brillante en la madurez, coronado por el cáliz persistente, el fruto contiene 1 semilla en forma elipsoide. La pulpa es jugosa, blanca o rosada, con un sabor ligeramente acida y astringente. El color intenso de la piel se asocia con un alto contenido de antocianinas, superior al de otras frutas brasileñas conocidas, como la jaboticaba, el camu-camu y la pitanga; su contenido de compuestos fenólicos (PC) es mayor que en el açai (Sanchez 2020).



Figura 1. Fruta Jambolan

Fuente: (plantogram s. f.)

3.3. Propiedades del Jambolan

Todas las partes vegetales de *S. cumini* tienen propiedades terapéuticas, las cuales se utilizan en diversos tratamientos. Los extractos de semillas, corteza, frutos, hojas y flores de esta especie, contienen diversos fitoquímicos como el glucósido jambolin, flavonoides, incluida la antocianina, terpenoides y alcaloides (p. ej., jambosina), que confieren propiedades medicinales, incluidas antialérgicas, antioxidantes, antidiarreicos, antimicrobianos, antiinflamatorios, anticancerígenos y otros. Frutos de *cumini* también poseen propiedades antihiperlipidémicas, hepatoprotectoras, antiulcerosas, antiartríticas, antifertilidad y actividades antipiréticas (Abhisek et al. 2021).

Tabla 1. Composición nutricional jambolan

Compuesto	Contenido-rango
Humedad	79.50 - 83.96 - 85.96 g/100g
Cenizas	0.41 - 0.30 - 0.39 g/100g
Proteínas	0.97 - 0.69 – 0.81 g/100g
Lípidos	0.35 - 0.23- 0.30 g/100g
Carbohidratos	17.96 – 12.57 – 13.94 g/100g
Carbohidratos	17.96 – 12.57 – 13.94 g/100g

Fuente: (Alonsob y Vanzelaa 2017).

Alrededor de 74 compuestos fenólicos individuales, incluidas 9 antocianinas (principalmente a base de delphinidina, petunidina y malvidina), 9 flavonoles (glucósidos de miricetina, laricitrina y jeringatina), 19 flavanonoles (dihexósidos de dihidromiricetina y sus derivados metilados), 8 flavan-3- En las partes comestibles del jambolan se detectaron monómeros ol (principalmente galocatequina), 13 galotaninos y 13 elagitaninos, junto con algunas proantocianidinas (prodelfinidinas altamente galoiladas) y ácidos gálico y elágico libres. Se ha sugerido que estos compuestos poseen varias características funcionales, es decir, actividades antioxidantes, antimutagénicas, antimicrobianas, antiglicémicas, anticancerígenas y antivirales (Alonsob y Vanzelaa 2017).

3.4. Beneficios del jambolan

Según (Cyril y Wijesundarac 2022) está comprobado que *S. cumini* (Jambolan) contiene fitoquímicos con ricas propiedades para luchar contra la diabetes, los estudios realizados en la India sobre *S. cumini* demostraron que las semillas son ricas en flavonoides y contenidos fenólicos totales, que podrían eliminar los radicales libres y proteger las enzimas antioxidantes y también contienen proteínas y calcio en un nivel bastante rico. Por lo tanto, como cultivo frutal tiene un alto potencial para contribuir a la vida saludable de los consumidores. Además, una amplia variación del árbol en la naturaleza podría potencialmente ser un apoyo para reforzar la seguridad alimentaria incluso en caso de un escenario de cambio climático global.

3.5. Aplicaciones y usos del jambolan

Dados los posibles beneficios para la salud asociados con sus compuestos fenólicos, el jambolan ha atraído considerable atención por parte de la comunidad científica y de los productores de alimentos industrializados, como materia prima potencial para el desarrollo de una variedad de productos. Aprovechando sus propiedades como actividades antidiabéticas, antidiarreicas, antiinflamatorias y antioxidantes. Con la pulpa de los frutos, se preparan jugos, gelatinas, dulces, mermeladas o se consumen fresco localmente. En algunas ciudades de Latinoamérica se cultivan para uso ornamental, por su follaje siempre verde, sus flores perfumadas y sus frutos comestibles (Davalos et al. 2022).

Dado el potencial de este fruto como materia prima para el desarrollo de productos, Otros investigadores están sumando esfuerzos para potenciar el uso del jambolan (fruta entera o piel o semillas) como ingrediente alimentario, para ello se están investigando tecnologías alternativas viables que produzcan este ingrediente, preservando al máximo las características sensoriales y nutricionales de la materia prima hortofrutícola, utilizando técnicas como la liofilización y la crioconcentración (Alonsod et al. 2020).

3.6. Técnicas de concentración de fluidos alimentarios

Existen diversas tecnologías para la concentración de alimentos encargadas de alargar la vida útil, garantizar la disponibilidad de alimentos, eliminar o inhibir microorganismos patógenos y otros agentes responsables del deterioro alimentario. El método de concentración es un proceso muy utilizado en las industrias de fluidos alimenticios, ya que se trata de un método de conservación que disminuye la cantidad de agua hasta el punto en que la actividad del agua se reduce considerablemente, de tal manera que se evita el desarrollo de microorganismos. Las tecnologías más utilizadas en la industria alimentaria para concentrar líquidos son la evaporación, tecnología de membranas y la crioconzentración (Ouaffak 2020).

3.6.1. Crioconzentración

La crioconzentración es una tecnología de alto grado de concentración que permite retener los compuestos biológicos sensibles al calor. El uso de bajas temperaturas del proceso da como resultado un líquido de alta calidad nutricional y con sus componentes aromáticos volátiles. Esta técnica es utilizada para concentrar productos líquidos mediante la congelación y separación del agua en forma de hielo. En este proceso, se reduce de manera controlada la temperatura por debajo del punto de congelación del líquido para formar hielo de alta pureza y evitar la retención de los sólidos en el producto. A pesar de ser una buena técnica, tiene ciertos inconvenientes relacionados con un alto costo de producción (Aguilar Martínez 2021).

3.7. Propiedades básicas del proceso de crioconzentración

En la industria alimenticia, es de gran importancia conocer y prever el efecto recíproco de determinados procesos en las propiedades de los alimentos, fundamentalmente para el diseño y control de equipos. Antes de discutir sobre las etapas del proceso de crioconzentración, debemos conocer algunas propiedades de los alimentos que tienen

especial relevancia en el proceso como son: el punto de congelación, viscosidad, densidad, calor específico y conductividad térmica (Ouaffak 2020).

3.7.1. Punto de congelación

Según (Aguilar Martínez 2021) el punto de congelación es la temperatura en la que líquidos y sólidos de una sustancia alimenticia están en equilibrio a una dada presión. Determina las propiedades termofísicas de un alimento en estado congelado. Se llega al punto de congelación de un alimento cuando empieza la fase de cristalización, es decir, la etapa de crecimiento de cristales de hielo. El punto de congelación, siendo una propiedad coligativa, está influenciado por la fracción molar del soluto presente en la solución y no por la masa. La depresión del punto de congelación (FPD) es inversamente proporcional (aproximadamente) al peso molecular del soluto en una solución.

3.7.2. Viscosidad

La viscosidad es un factor limitante en las técnicas de concentración, como la crioconcentración, la evaporación o la osmosis inversa. La viscosidad aumenta en función del descenso de la temperatura y del aumento de la concentración. Durante el proceso de crioconcentración, se produce un incremento de la viscosidad y eso provoca un límite máximo de concentración al que se puede llegar. El aumento de la viscosidad, además interfiere en el índice de crecimiento y maduración de los cristales de hielo y dificulta el lavado de esos cristales, limitando la separación de la solución, lo que provoca que no se lleve a cabo correctamente la transferencia de calor y masa (Cabrales 2014).

3.7.3. Conductividad térmica

La conductividad térmica de un material alimenticio es una medida de su capacidad para conducir el calor. La conductividad térmica de los fluidos alimenticios durante la crioconcentración se ve afectada por tres factores: composición del alimento, estructura y condiciones ambientales de elaboración. La mayoría de los alimentos con alto contenido

de humedad tienen valores de conductividad térmica más cercana al agua. El contenido de hielo juega un papel significativo en la conductividad térmica, debido a la magnitud relativa de las conductividades del hielo y el agua en los alimentos congelados. La conductividad térmica del hielo ($2.220 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$) es cuatro veces superior a la conductividad térmica del agua ($0.583 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$) (Ramírez H. et al. 2012).

3.7.4. Calor específico

El calor específico es una parte esencial del análisis térmico en el procesamiento de alimentos. El calor específico de un alimento aumenta a medida que aumenta el contenido de humedad del producto. Se define como la cantidad de calor que gana o pierde un producto por una unidad de masa para alcanzar un cambio en la temperatura de una unidad. Para procesos donde se lleva a cabo un cambio de estado, como la congelación o deshielo, se utiliza el calor específico aparente. El calor específico aparente incorpora además del calor involucrado en el cambio de estado el calor sensible (Cabrales 2014).

3.8. Etapas en el proceso de crioconcentración

La crioconcentración consiste principalmente en una operación unitaria eficiente para la concentración de alimentos líquidos como zumos, suero de leche, extractos de té o café, soluciones de sacarosa entre otros, utilizando bajas temperaturas. Además de concentrar alimentos, esta técnica se puede utilizar para la desalinización del agua de mar, Las diferentes técnicas de concentración por congelación tienen en común tres fases principales (la nucleación, el crecimiento y la separación de los cristales de hielo formados) (Ramírez H. et al. 2012).

3.8.1. Congelación

La concentración por congelación de alimentos líquidos se ha empleado en una amplia gama de productos, aunque no todos son explotados comercialmente. Estos incluyen zumos de frutas, productos lácteos, vinagre, café, té, cerveza, vino y otros productos. En

la etapa de congelación, el alimento se somete a una temperatura por debajo de su punto de congelación, en donde la porción de agua cambia de estado (líquido a sólido) para formar cristales de hielo. La cantidad y tamaño de los cristales comienzan a incrementarse en la etapa BC. Produciendo una ligera elevación de temperatura, hasta alcanzar T_f (C) el cual representa el punto de congelación de la solución (Ruiz et al. 2008).

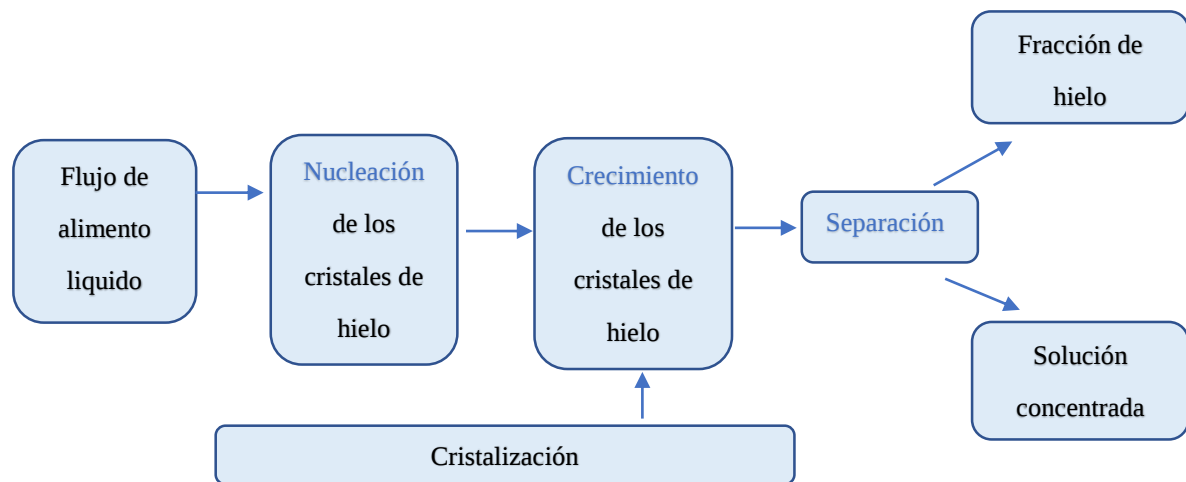


Figura 2. Proceso de Crioconcentración

Fuente: (Cabrales 2014).

3.8.2. Cristalización

La congelación es la operación unitaria en la cual la temperatura de un alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, provocando que una proporción del agua sufra un cambio de estado para formar los cristales de hielo. El alimento se enfría por debajo del punto de congelación (inferior a 0°C), llegando al subenfriamiento. Aumenta la temperatura hasta el punto de congelación y comienza la formación de los cristales de hielo. Liberación de calor latente de cristalización La temperatura permanece casi constante, solo se intercambia calor latente, continúa formación de cristales de hielo. Leve disminución del punto de congelación debido al aumento de concentración de solutos (Ojeda 2014).

3.8.3. Nucleación

La nucleación corresponde al comienzo de la formación de pequeños cristales durante el proceso de congelación. Para que se formen los cristales de hielo previamente es necesario la formación de núcleos que actúen como centros de cristalización, y para que se lleve a cabo dicha formación de núcleos, la solución a congelar ha de llegar a un cierto grado de subenfriamiento. La formación de estos pequeños cristales puede ser por diversos mecanismos como por ejemplo choques de cristales entre sí o choques con la superficie de los recipientes donde están contenidos (Ruiz et al. 2008).

3.8.4. Crecimiento de los cristales de hielo

Una vez establecidos los núcleos durante la etapa de subenfriamiento, comienzan el crecimiento de los cristales a un tamaño visible. El crecimiento está controlado por la velocidad de calor latente liberado durante el cambio de fase, y también por la velocidad de transferencia de masa (difusión de moléculas de agua desde la solución a la red cristalina y contradifusión de solutos lejos de la superficie de cristales en crecimiento). Una elevada concentración de soluto, se considera un factor que interfiere en el crecimiento de los cristales. Cuanto más alto sea la concentración menor será la formación de cristales de hielo, por el hecho de que el coeficiente de difusión del agua es menor en presencia de altas concentraciones de soluto (Ramos y Huam 2017).

3.8.5. Separación

La finalidad de este proceso durante la crioconcentración consiste en separar una fracción concentrada y una fracción de hielo. Cabe destacar que la eficiencia de la separación del hielo y el concentrado, depende de la morfología de los cristales de hielo (cristales de hielo grandes de tamaño uniforme) además del grado de viscosidad. La separación del hielo del fluido concentrado puede llevarse a cabo mediante diferentes mecanismos, por ejemplo: filtración, lavado del hielo, centrifugación, extracción por presión y deshielo

que incluye el deshielo fraccionado como mecanismo alternativo de concentración de fluidos en el proceso de crioconcentración (Ojeda 2014).

3.9. Sistemas de crioconcentración

Para crioconcentrar un fluido alimenticio, debe exponerse a un medio de baja temperatura durante el tiempo suficiente para eliminar el calor sensible y latente de fusión (congelación). Esta operación se establece por medio de sistemas que pueden ser por contacto directo o indirecto. El tipo de sistema utilizado depende de: la temperatura aplicada, el producto elaborado, el medio de congelación (aire, superficie fría, líquido) y la forma de procesamiento (continua, o por lote) (Sanchez y Gonzales 2019).

3.9.1. Sistemas directos

En sistemas directos, el refrigerante actúa como medio de transferencia de calor, no es necesaria una superficie de intercambio de calor. La tecnología de refrigeración por contacto directo se ha empleado para la producción de agua pura a partir de agua salina. En este caso, el producto es el hielo, que tiene un bajo contenido de sal. Para la concentración por congelación de alimentos, sin embargo, la expansión directa de refrigerante en el producto causa una sustancial pérdida de sabor, similar a la experimentada durante la evaporación. Por tanto, no hay ninguna ventaja inherente en la calidad obtenida de concentración por congelación y no se utilizan estas tecnologías (Ramos y Huam 2017).

3.9.2. Sistemas Indirectos

Este sistema tiene ventajas con respecto al sistema de contacto directo: por ejemplo, no hay contacto del refrigerante con el producto, se evita la contaminación del alimento con el refrigerante, la temperatura dentro del congelador puede ser fácilmente controlada por medio de válvulas. En el sistema de congelación indirecto la transferencia de calor se produce a través de una pared o barrera sólida, por cuyo interior fluye el líquido

refrigerante se clasifican en dos tipos: congeladores con enfriamiento interno que pueden ser, cristalización por capa y cristalización en suspensión. Congeladores con enfriamiento externo que pueden ser: con alimentación sub-enfriada y recipientes de maduración (Castaño Castrillón y Quintero 2004).

Los sistemas indirectos son los más utilizados en la industria alimentaria. Es necesario una superficie de intercambio de calor, y gracias a ello, se evitan mezclas o contaminación entre alimento líquido y refrigerante. Además, la temperatura se puede regular fácilmente. El sistema indirecto se desglosa en externo e interno. A su vez, los procesos de crioconcentración internos se dividen en tres tipos, teniendo en cuenta el tipo de cristalización: en suspensión, en película o en bloque (Sanchez y Gonzales 2019).

- **Crioconcentración en suspensión**

La cristalización en suspensión es la más común a escala industrial. Utilizando este método se puede conseguir cristales de hielo de alta pureza. Se requiere de un intercambiador de calor de superficie rascada para la formación de núcleos de hielo, un recrystalizador para el crecimiento de los núcleos de hielo de un tamaño uniforme y un sistema de separación, utilizando normalmente una columna de lavado. Es importante la formación de cristales de hielo lo suficientemente grandes para que se lleve a cabo de manera eficiente la separación de la solución. Esta técnica está disponible comercialmente y tiene aplicaciones en la industria de zumos de fruta y cerveza (Pazmiño 2016).

- **Crioconcentración progresiva**

Esta técnica se basa en la cristalización del agua presente en una solución en forma de una única capa de hielo sobre una superficie fría. El crecimiento de los cristales tiende a ser paralelo y opuesto a la dirección de transferencia de calor. Gracias a la formación de una única masa de hielo de gran tamaño, el proceso de separación de las dos fases (fracción de hielo y concentrado) es más sencillo en comparación con el método de cristalización en suspensión, ya que no es necesario un filtro de lavado. Sin embargo, un inconveniente de la concentración de congelación progresiva es que es una operación discontinua (Murillo et al. 2020).

- **Crioconcentración en bloque**

La técnica de crioconcentración en bloque posibilita la recuperación de solutos concentrados de alta calidad. Esta tecnología se basa principalmente en una técnica de congelación-descongelación. En primer lugar, se produce la congelación completa de un fluido alimentario. El congelamiento es unidireccional y la temperatura del centro del bloque se encuentra por debajo del punto de congelación. En segundo lugar, se produce una descongelación parcial de la masa congelada y se procede a realizar la separación de la fracción concentrada y la fracción de hielo por medio de la gravedad (Castaño Castrillón y Quintero 2004).

- **Crioconcentración asistida por vacío**

La aplicación del vacío como técnica asistida proporciona una mejora en la eficiencia de la crioconcentración en bloque obteniendo resultados prometedores. Esta técnica consiste en mejorar la eficiencia del proceso de separación del concentrado de una matriz de hielo, mediante una etapa de succión empleando una bomba de vacío, consiguiendo concentraciones de alta calidad en comparación con la muestra inicial. La crioconcentración asistida por vacío fue propuesta en 2008 para la obtención de agua potable utilizando agua de mar. Por otro lado, en 2013 se empezaron estudios que verificaban la eficiencia de esta técnica a la hora de concentrar soluciones de sacarosa (Pardo y Sanchez 2014).

- **Crioconcentración asistida por centrifugación**

La centrifugación es una técnica que en los últimos años se ha visto que es eficiente y mejora la separación del líquido concentrado. La fracción congelada de hielo actúa como un sólido poroso. Al usar el método con centrifugación, la solución concentrada se logra filtrar a través de los canales de drenaje del hielo debido a la fuerza aplicada por la centrífuga, logrando eliminar la solución concentrada de la matriz. La extracción con centrífuga se ha visto como una alternativa útil para la concentración y recuperación de

solutos ocluidos en el hielo para varios líquidos como: zumo de naranja, zumo de arándanos zumo de piña concentración de extractos de Labisia, entre otros (Murillo et al. 2020).

3.10. Aplicaciones de la criocentración en la industria alimentaria

La criocentración es un proceso que se utiliza en la industria alimentaria principalmente para la concentración de líquidos, como jugos, extractos y purés de frutas. Concentración de jugos y extractos, permite concentrar jugos de frutas para obtener productos más densos y con mayor contenido de sólidos solubles, manteniendo mejor el sabor y las propiedades nutricionales. La criocentración también puede ser útil en la preservación de alimentos al reducir el contenido de agua, lo que ayuda a prolongar la vida útil de ciertos productos. Estas aplicaciones destacan cómo la criocentración puede mejorar tanto la calidad como la eficiencia en la producción de alimentos (Pazmiño 2016).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Lugar de investigación

El trabajo de investigación se realizó en la planta hortofrutícola y en laboratorio de química de la Universidad Nacional de Agricultura, Ubicada en la Carretera a Dulce Nombre de Culmi, Kilómetro 215, Barrio El Espino Catacamas, Olancho, Honduras.



Figura 3. Universidad Nacional de Agricultura

Fuente: Página oficial UNAG, SF

4.2. Materia prima

Los Frutos de Jambolan (*syzygium cumini*) que se observan en el Anexo 1 se recolectaron en la ciudad de Catacamas, Olancho. Luego se lavaron y desinfectaron con cloro, según (OIRSA 2020) se utiliza 50 ppm de cloro para desinfectar frutas para eliminar cualquier

sustancia extraña que pueda deteriorar los frutos y después se procedió a congelarlos a una temperatura de -18 °C para almacenarlos para después realizar el jugo a partir de la pulpa del fruto jambolan.

4.3. Metodología

4.3.1. Descripción de las etapas a desarrollar

4.3.1.1. Elaboración de jugo a partir del fruto jambolan (*syzyguim cumini*)

Para la elaboración del jugo de Jambolan, se descongelaron los frutos que se tenían almacenados, y luego se procedió a despulpar los frutos manualmente, posteriormente se procesaron en una licuadora modelo Oster 3 y finalmente se utilizó un embudo y un tamiz para filtrar el jugo en un vaso de precipitado.

4.3.1.2. Implementación de la técnica de crioconcentración en bloque al jugo jambolan

El proceso de crioconcentración del jugo de jambolan que se observa en el Anexo 2, se desarrolló en tres bloques, como se describe a continuación:

4.3.1.2.1. Bloque 1

- **Preparación de las muestras y congelación**

Para la preparación de las muestras se utilizaron 20 tubos falcón de plástico de 15 ml de capacidad. Luego se agregó el 13 ml de jugo de jambolan a cada tubo, dando un volumen total de 260 ml, las muestras se congelaron en un congelador estático (modelo GRS 3 FLEX) a -23 °C durante 24 horas.

- **Proceso de centrifugación**

La centrifugación se realizó con el objetivo de forzar la separación de los sólidos del hielo. Las muestras se retiraron del congelador y se transfirieron inmediatamente a la centrifuga refrigerada (modelo Sorval ST 8R), previamente se lubricaron los tubos para evitar que se queden atorados en la centrifuga, se programó tiempo y velocidad de acuerdo con los resultados de pruebas preliminares a diferentes tiempos y temperatura constante donde se observó que se obtuvieron buenos resultados trabajando a una temperatura de 20 °C, tiempo de 30 minutos y con una velocidad de centrifugación de 3200 rpm, después del proceso de centrifugación se extrajo con una pinza la fracción de hielo y se recogió por aparte la fracción concentrada en un vaso de precipitados.

4.3.1.2.2. Bloque 2

- **Preparación de las muestras y congelación**

La fracción concentrada que se recogió en el vaso de precipitados del bloque 1 fue un volumen de 217 ml de jugo, este se agregó nuevamente a los tubos falcón que para este bloque fueron 16 y se procedió a congelarlos de nuevo, siguiendo la metodología descrita en el bloque 1.

- **Proceso de centrifugación**

Las muestras se retiraron del congelador y nuevamente fueron centrifugadas para forzar la separación de concentrado del hielo, se utilizó la misma velocidad y tiempo de centrifugación que se empleó en el bloque 1 la cual es una velocidad de 3200 rpm en un tiempo de 30 minutos, una temperatura constante de 20 °C. se extrajo con una pinza la fracción de hielo y se recogió por aparte la segunda fracción concentrada en un vaso de precipitados.

4.3.1.2.3. Bloque 3

- **Preparación de las muestras y congelación**

La fracción concentrada que se obtuvo del bloque 2 fue un volumen de 179 ml de jugo se agregó nuevamente a los tubos falcón y de nuevo se sometieron a congelación.

- **Proceso de centrifugación**

Las muestras del bloque 3 se retiraron del congelador y nuevamente fueron centrifugadas para forzar la separación de concentrado del hielo, se utilizó la misma velocidad y tiempo de centrifugación que se empleó en el bloque 1 y 2 la cual es una velocidad de 3200 rpm en un tiempo de 30 minutos, una temperatura constante de 20°C. Se extrajo con una pinza la fracción de hielo y se recogió por aparte la tercera fracción concentrada en un vaso de precipitados.

El líquido concentrado que se obtuvo del bloque 3 se mezcló por 15 segundos para homogeneizar y poder medir sólidos solubles con un refractómetro. El hielo retenido se pesó por separado y se esperó hasta que se diluya y llegara a la misma temperatura que el líquido concentrado (20-22°C) y se realizó la medición de sólidos solubles.

4.3.1.3. Análisis fisicoquímicos

Se realizaron análisis fisicoquímicos de color, pH y grados Brix o sólidos solubles al jugo de jambolan inicial y al jugo de jambolan crioconcentrado y estos se observan en el Anexo 4.

4.3.1.3.1. Medición de pH

Para la medición del pH se realizó la lectura directamente a los jugos (Inicial y Crioconcentrado) y se utilizó un pH-metro modelo ORION VERSASTAR PRO.

4.3.1.3.2. Medición de sólidos solubles

Para la medición de los sólidos solubles se utilizó un refractómetro modelo MA871, al jugo de jambolan inicial y al jugo ya crioconcentrado.

4.3.1.3.3. Medición de color

Para la medición del color al jugo de jambolan se utilizó la aplicación móvil ColorAnlz. Se utilizó el espacio de color CIELab se obtuvieron las coordenadas $L^*a^*b^*$, (L^*) luminosidad, (a^*) tonalidad de rojo a verde, (b^*) tonalidad de amarillo a azul. Utilizando las ecuaciones 1 y 2, se calcularon los parámetros de ángulo de tono (H_{ab}), pureza de color o croma (C^*) y diferencia total de color (ΔE) (Aedo 2022).

4.3.1.3.4. Ecuaciones para determinación de parámetros de color

Ángulo de tono (Hab)¹

$$Hab = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

Croma o pureza de color (C*)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

Diferencia total de color (ΔE).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Los índices de concentración, porcentaje de recuperación de solutos y eficiencia, se midieron al jugo concentrado siguiendo la metodología descrita a continuación:

4.3.1.4. Índice de concentración

IC indica la relación entre la concentración final de sólidos totales en la fracción del concentrado (C_f) y la concentración sólidos totales de la solución inicial (C_0) (Ojeda et al. 2017). Esta se muestra en la siguiente ecuación.

$$IC = \frac{C_f}{C_0} \quad (4)$$

4.3.1.5. Porcentaje de recuperación de sólidos (Y%)

El porcentaje de recuperación de sólidos está definido por la relación entre la masa del soluto del líquido concentrado (m_f) y la masa del soluto de la solución inicial (m_o) (Muñoz et al. 2018). Este rendimiento se calculó con la siguiente ecuación.

$$Y(\%) = \frac{C_f \times m_f}{C_o \times m_o} \times 100 \quad (5)$$

4.3.1.6. Eficiencia del concentrado

La eficiencia se define como el aumento de la concentración de la solución en función a la cantidad de sólidos que permanecen en la fracción del hielo. Esta se calcularon con la ecuación que se muestra a continuación, donde Ch representan la concentración (en °Brix) de la fracción del hielo (Orellana et al. 2017).

$$EFF(\%) = \frac{C_f \times C_H}{C_f} \times 100 \quad (6)$$

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Etapas desarrolladas en la investigación

5.1.1. Elaboración de jugo a partir del fruto jambolan (*syzyguim cumini*)

En esta etapa se elaboró el jugo de jambolan el cual se utilizó para el proceso de crioconcentración, y se obtuvo un volumen de 260 ml de jugo el cual fue utilizado para dicho proceso mencionado anteriormente. Pero antes de llevar a cabo ese proceso se realizaron análisis químicos al jugo, los cuales se describen en las siguientes tablas.

Tabla 2. Análisis químicos al jugo de jambolan inicial.

Muestra	pH	Grados Brix
Jugo de jambolan	3.05±0.34	5.7±0.06

En la *Tabla 2* se pueden visualizar los análisis químicos que se le realizaron al jugo del fruto jambolan, esta variedad de fruto presenta un pH de 3.05±0.34 y según la investigación de (Camacho Romero et al. 2016) el ácido que provoca que el pH de este fruto sea bajo es el ácido ascórbico. Contenido de grados brix de 5.7±0.06. En otras investigaciones donde se analizó este fruto presentan resultados diferentes más que todo en los grados brix esto puede ser por el nivel de madurez del fruto, en la investigación de (de Paulo Farias et al. 2020) presenta que el jambolan tiene un pH de 4.6 y un contenido de solidos solubles de 10.5 brix.

Por otra parte (de Araújo et al. 2024), sus estudios demostraron que el fruto jambolan tiene un pH de 3.87 y un contenido de grados brix de 8.87, en la investigación de (do Nascimento-Silva et al. 2022) se puede ver que el jambolan tiene un pH de 3.22 y un

contenido de grados brix de 13. Se puede ver que en todas las investigaciones hay diferencias en los resultados esto puede ser porque todas las investigaciones se realizaron en diferentes lugares, entonces los frutos son de diferentes variedades por eso presentan parámetros diferentes, pero al mismo tiempo similares porque estamos hablando del mismo fruto.

Tabla 3. *Análisis de color al jugo de jambolan inicial*

Coordenadas CIELab	Resultados
L*	27.2±1.39
a*	50.07±1.54
b*	37.03±3.35
Ángulo de tono	0.64±0.03
Croma o pureza de color	62.29±3.19

El análisis de color del jugo de jambolan inicial en coordenadas CIELab arroja valores característicos que permiten describir su apariencia y tonalidad. L* nos indica luminosidad y el valor obtenido fue de 27.2±1.39 y esto indica que el jugo de jambolan presenta una tonalidad oscura, lo cual es característico de frutos con alto contenido de pigmentos naturales, como antocianinas (Cortez et al. 2017). La coordenada a* presenta un valor de 50.07±1.54 un valor positivo elevado que según (Wrolstad y Smith 2017) indica una marcada tendencia hacia el rojo, este resultado es característico de jugos ricos en antocianinas, que son responsables de los tonos rojizos y violáceos presentes en frutas como el jambolan.

Para la coordenada b* se presenta un valor de 37.03±3.35 este valor positivo como se vio en la investigación de (Popović et al. 2020) indica una componente amarilla significativa esto sugiere la presencia de otros pigmentos además de las antocianinas, como los carotenoides o flavonoides, que pueden influir en el tono final del jugo. El Angulo de tono presenta un valor de 0.64±0.03 es una tonalidad alta que indica un rojo claro con una mezcla con violeta esto debido al contenido de antocianinas. En el croma o pureza de color presento un valor de 76.81±4.36 y este valor representa la saturación del color,

indicando cuán vivo o intenso es el tono percibido, un croma alto sugiere que el color del jugo es muy puro y llamativo lo que podría ser atractivo desde el punto de vista comercial y sensorial para los consumidores (Cortez et al. 2017).

5.1.2. Implementación de la técnica de crioconcentración en bloque al jugo jambolan

- **Bloque 1**

El primer bloque se empezó con 20 tubos falcón con 13 ml de jugo haciendo un volumen total de 260 ml. Los resultados del primer bloque cuando se realizó el proceso de crioconcentración, fueron que de 20 tubos quedaron 16 tubos con 13 ml y un tubo con 9 ml y en este primer bloque se extrajo 41 ml de agua, quedando un volumen total de jugo de 217 ml, y esa cantidad de jugo se utilizó para el segundo bloque.

- **Bloque 2**

Para el segundo bloque quedaron 16 tubos con 217 ml de jugo total. Los resultados del segundo bloque cuando se realizó el proceso de crioconcentración fueron, que de 16 tubos quedaron 13 tubos que de esos tubos 10 contenían 13 ml y los otros 3 tubos contenían 13 ml de jugo y en este segundo bloque se extrajo 35 ml de agua, quedando un volumen total de jugo de 179 ml y esa cantidad de jugo se utilizó para el tercer bloque.

- **Bloque 3**

Para el tercer y último bloque quedaron 13 tubos con 179 ml de jugo total. Los resultados del tercer bloque cuando se realizó el proceso de crioconcentración fueron, que, de 13 tubos, quedaron 11 tubos que de esos tubos 10 contenían 13 ml y un tubo contenía 8.5 ml

de jugo y en este tercer y último bloque se extrajo 38 ml de agua, quedando un volumen total de jugo concentrado de 138.5 ml como se observa en el Anexo 3.



Figura 4. Jugo Crioconcentrado y agua extraída

Jugo crioconcentrado: 138. 5 ml esto equivale a un 53.3% del volumen total que eran 260 ml

Agua extraída: 114 ml esto equivale a un 43% del volumen total que eran 260 ml

Tabla 4. Análisis químicos al jugo de jambolan crioconcentrado

Muestra	pH	Grados Brix
Jugo de jambolan crioconcentrado	3.23±0.0	9.2±0.06
fracción de hielo	-	0.9±0.06

En la *Tabla 4* se presentan los análisis químicos que se realizaron al jugo de jambolan crioconcentrado, donde se puede ver que el pH presenta un valor de 3.23±0.0 que a comparación del jugo de jambolan inicial el pH no hubo cambio significativo siempre se mantuvo en un rango de pH de 3. En los grados brix se puede ver que presento un valor de 9.2±0.06 a comparación con el jugo inicial, se puede ver que si hubo un cambio

bastante significativo porque los sólidos solubles aumentaron de 5.7 a 9.2, y con esto se comprueba que si se alcanzó un nivel de concentración aceptable. Los grados brix de la fracción de hielo nos indica el porcentaje de solidos solubles que tiene la fracción de hielo, podemos ver que presenta un valor de 0.9 ± 0.06 es un valor bastante bajo esto indica que el proceso fue eficiente.

Tabla 5. *Análisis de color al jugo de jambolan crioconcentración*

Coordenada CIELab	Resultados
L*	16.9±1.45
a*	35±1.05
b*	18.2±1.26
Ángulo de tono	0.48±0.02
Croma o pureza de color	39.47±1.51
Delta E	26.23

El análisis de color del jugo de jambolan crioconcentrado con coordenadas CIELab arroja valores característicos que permiten describir su apariencia y tonalidad. L* nos indica la luminosidad y presenta un valor de 16.9 ± 1.45 , notablemente más bajo que el jugo inicial 27.2 ± 1.39 , esto indica que el proceso de crioconcentración oscurece el color del jugo. La coordenada a* representa la intensidad del color rojo, se puede ver que el proceso este este valor se redujo de 35 ± 1.05 , lo que implica una menor saturación del color rojizo característico del jambolan.

La coordenada b* se relaciona con la intensidad del amarillo, el jugo crioconcentrado presenta un valor de 18.2 ± 1.26 , significativamente menor que los 37.03 ± 3.35 del jugo inicial, indicando una reducción en la tonalidad amarilla (Popović et al. 2020). El Angulo de tono presento un valor más bajo que el del jugo inicial una tonalidad de 0.48 ± 0.02 y esto como resultado un rojo más intenso y oscuro por la concentración de pigmentos. Y el Croma o pureza de color disminuyo de 62.29 ± 3.19 a 39.47 ± 1.51 , lo que sugiere una pérdida de intensidad en la saturación del color, probablemente debido a cambios en la concentración de pigmentos, podría estar relacionado con una mayor concentración de

compuestos bioactivos.(Wrolstad y Smith 2017). Para el Delta E se observa un valor alto el cual es 26.3, es una diferencia de color claramente perceptible al ojo humano

5.1.3. Índice de concentración

El índice de concentración indica el nivel de concentración o la veces que se concentró el jugo y, el proceso de crioconcentración de jugo de jambolan tuvo un índice de concentración de 1.6. En otras investigaciones con otros tipos de jugos con otras frutas se presentaron índices de concentración diferentes en la investigación de (Casas-Forero et al. 2020), el cual hicieron el proceso de crioconcentración por bloques en un jugo de arándanos el cual obtuvieron un índice de concentración de 3.6. Por otra parte (Orellana-Palma et al. 2020), hicieron el proceso de concentración por congelación con el jugo de piña y obtuvieron como resultado un índice de concentración de 3.2.

5.1.4. Porcentaje de recuperación de sólidos (Y%)

El porcentaje de recuperación de sólidos indica la magnitud en la cual se recuperó los solutos, en el proceso de concentración en este caso en la técnica de crioconcentración en bloque y esta investigación se obtuvo una recuperación de sólidos de un 86%. En otras investigaciones donde realizaron el mismo proceso de crioconcentración se obtuvieron resultados similares, en la investigación de (Vásquez-Castillo et al. 2024) que hicieron el proceso con un jugo de granada obtuvieron un porcentaje de recuperación de solutos del 88%. Por otra parte (Orellana-Palma et al. 2020) quienes trabajaron con el jugo de piña obtuvieron un porcentaje de recuperación de solutos del 73%.

5.1.5. Eficiencia del concentrado

La eficiencia se definió como el aumento de la concentración de la solución en relación con la cantidad de concentración de sólidos solubles que quedan en la fracción congelada, y esta investigación de obtuvo una Eff del 90%. En la investigación de (Vásquez-Castillo et al. 2024) se obtuvieron resultados similares una eficiencia de 90.2%, ellos hicieron el proceso con un jugo de arándanos. Por otra parte (Casas-Forero et al. 2020) obtuvieron una eficiencia de concentrado de 83% en esta investigación, se realizó el proceso de crioconcentración a un jugo de arándanos.

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de la crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada demostró ser una técnica eficiente para concentrar sólidos solubles en el jugo de jambolán, logrando un incremento significativo de °Brix en comparación con el jugo inicial. Esto confirma que la metodología aplicada es viable para obtener un jugo concentrado, conservando sus propiedades bioactivas, cumpliendo satisfactoriamente el objetivo principal de esta investigación.

El análisis de color mostró diferencias significativas entre el jugo inicial y el jugo crioconcentrado, evidenciando que el proceso de crioconcentración en bloque asistida por centrifugación refrigerada intensificó los parámetros de color del jugo de jambolán. Se observó un aumento en la saturación y en la intensidad del tono característico del jugo inicial, lo que indica una mayor concentración de pigmentos naturales como las antocianinas.

Se observó que la aplicación de la centrifugación refrigerada durante la crioconcentración facilita la separación de las fracciones de hielo del jugo concentrado, mejorando el rendimiento del proceso. Obteniendo un índice de concentración aceptable, eficiente recuperación de solutos y una eficiencia de concentrado considerable.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un diseño experimental donde se haga la comparación y la influencia que puede tener el tiempo, la velocidad y la temperatura de centrifugación en el proceso de crioconcentración. La evaluación de diferentes combinaciones de estos parámetros permitirá identificar las condiciones óptimas que favorezcan una mayor concentración de solutos y una separación más eficiente de la fracción de hielo.

Se aconseja para investigaciones futuras ampliar el conjunto de análisis fisicoquímicos realizados al jugo de jambolan antes y después de la crioconcentración. Además de los parámetros ya evaluados, sería beneficioso incluir estudios de contenido de compuestos fenólicos totales, viscosidad, acidez y capacidad antioxidante. Estos análisis ofrecerían una caracterización más completa del jugo concentrado.

Se recomienda considerar el uso de tubos Falcon de mayor capacidad en futuras investigaciones para optimizar el manejo del volumen de muestra durante el proceso de crioconcentración. El empleo de tubos con mayor volumen permitiría procesar más cantidad de jugo en cada ciclo de congelación y centrifugación, reduciendo la manipulación de muestras y minimizando posibles pérdidas. Además, podría mejorar la eficiencia del proceso, facilitar la separación de fases y permitir una obtención más homogénea del concentrado.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Abhisek, C; Shruti, M; Vineet, S; Bisht, M. 2021. La secuenciación del genoma de *Syzygium cumini* (Jamun) revela evolución adaptativa en vías de metabolismo secundario asociadas con sus propiedades medicinales. DOI: <https://doi.org/10.1101/2023.07.12.548672>.

Aedo, A. 2022. Medición de Color de frutas (manzana verde, limón y mandarina) en distinto grado de Madurez (en línea). . Disponible en <file:///C:/Users/luiselvir/Downloads/InformedecolorlvaroAedo.pdf>.

Aguilar Martínez, D. 2021. Estudio de Crioconcentración en bloque asistida por centrifugación para zumos de tomate (en línea). :1-50. Disponible en <http://hdl.handle.net/2117/355558>.

Alonsob, G; Vanzelaa, L. 2017. Deshidratación del jugo de jambolan [*Syzygium cumini* (L .)] durante el secado de la estera de espuma : cambios cuantitativos y cualitativos de compuestos fenólicos. .

Alonsod, G; Gutiérrezd, H; Silvaa, D; Vanzelaa, L. 2020. Estabilidad en almacenamiento y actividad antioxidante en polvo obtenido mediante secado en estera de espuma. .

de Araújo, ANV; de Souza, EL; Nascimento, D dos S; Alves, JM; Brito Sampaio, K; da Silva, SRF; de Brito Alves, JL; de Albuquerque, TMR. 2024. Revisiting the nutritional and functional value and health-promoting potential of *Syzygium* species. *Journal of Functional Foods* 118(January). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106265>.

Cabralles, R. 2014. RECUPERACIÓN DE SOLUTOS DEL HIELO PROVENIENTE DE UN CRIOCONCENTRADOR DE PLACAS: CINÉTICA Y CONCENTRACIÓN. .

Camacho Romero, O; Melgarejo Gómez, S; de la Rosa Torres, C; Puertas-Mejia, MA; Rojano, B. 2016. Correlación del contenido de fenoles y antocianinas con la capacidad antioxidante *Syzygium cumini* (L.) Skeels, (Jambolan) (en línea). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 21(1):63-70. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v21n1/pla07116.pdf>.

Casas-Forero, N; Orellana-Palma, P; Petzold, G. 2020. Influence of block freeze concentration and evaporation on physicochemical properties, bioactive compounds and antioxidant activity in blueberry juice. Food Science and Technology (Brazil) 40(December):387-394. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.29819>.

Castañó Castrillón, JJ; Quintero, GP. 2004. Calidad de extractos de café perforado por broca obtenidos por crioconcentración (en línea). Cenicafé 55(3):183. Disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/126/1/arc055%2803%29183-201.pdf>.

Cortez, R; Luna-Vital, DA; Margulis, D; Gonzalez de Mejia, E. 2017. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 16(1):180-198. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244>.

Cyril, D; Wijesundarac, A. 2022. Caracterización morfológica, capacidad antioxidante y diversidad de árboles Syzygium cumini de Sri. .

Davalos, V; Calabroni, A; Canepa, L. 2022. MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA FOLIAR DE Syzygium cumini (L .) Skeels y Syzygium . jambos (L .) Alston (MYRTACEAE), CULTIVADAS EN LA CIUDAD FORMOSA. (April).

Muñoz, I; Rubio, A; Prudêncio, ES. 2018. Concentración de congelación progresiva de leche desnatada en un recipiente agitado: Efecto de la temperatura del refrigerante y la velocidad de agitación en el rendimiento del proceso. 25(2).

Murillo, D; Hernández, E; Raventós, M; Prudêncio, ES; Canella, MHM. 2020. Crioconcentración progresiva de soluciones de sacarosa mediante agitación magnética (en línea). Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry 77(590):4-10. Disponible en <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/371171>.

do Nascimento-Silva, NRR; Bastos, RP; da Silva, FA. 2022. Jambolan (Syzygium cumini (L.) Skeels): A review on its nutrients, bioactive compounds and health benefits. Journal of Food Composition and Analysis 109(February):0-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104491>.

OIRSA. 2020. Guía para Uso de Cloro en Desinfección de Frutas y Hortalizas de Consumo Fresco, Equipos y Superficies en Establecimientos Dirección Regional de Inocuidad de los Alimentos. Dirección Regional de Inocuidad de los Alimentos 1(2):15.

Ojeda, A. 2014. CRIOCONCENTRACIÓN PROGRESIVA EN SOLUCIONES DE SACAROSA (en línea). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/269873736_Crioconcentracion_progresiva_de_soluciones_de_sacarosa.

Ojeda, A; Moreno, L; Blanco, M; Raventos, M; Hernandez, E. 2017. Efecto de los parámetros del proceso en la concentración de congelación progresiva de soluciones de sacarosa. .

Orellana-Palma, P; Zúñiga, RN; Takhar, PS; Gianelli, MP; Petzold, G. 2020. Effects of Centrifugal Block Freeze Crystallization on Quality Properties in Pineapple Juice. Chemical Engineering and Technology 43(2):355-364. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.201900387>.

Orellana, P; Petzold, G; Torres, N. 2017. Retención de ácido ascórbico y concentración de sólidos a través de la concentración de congelación centrífuga del zumo de naranja (en línea). . Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Retention-of-Ascorbic-Acid-and-Solid-Concentration-Orellana-Palma-Petzold/c5d5fddb9eda5bff400807d002047d3bc18336e4>.

Orwa C, MA. 2009. Syzygium cuminii Syzygium cuminii jamun. :1-5.

Ouaffak, K. 2020. Crioconcentración asistida por vacío de tres tipos de suero de leche de vaca. :71.

Pardo, M; Sanchez, R. 2014. Aplicación de vacío y microondas para la mejora del rendimiento de crioconcentración en bloque. (October).

de Paulo Farias, D; Neri-Numa, IA; de Araújo, FF; Pastore, GM. 2020. A critical review of some fruit trees from the Myrtaceae family as promising sources for food applications with functional claims (en línea). Food Chemistry 306(October 2019):125630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125630>.

Pazmiño, N. 2016. Aplicación de la crioconcentración progresiva para la desalinización (en línea). :1-78. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/110458/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

plantogram. 2025. Jamun Jambolan Ciruela (en línea, sitio web). Consultado 31 mar. 2025. Disponible en <https://plantogram.com/product/jamun-jambolan-plum/>.

Popović, BM; Blagojević, B; Ždero Pavlović, R; Mičić, N; Bijelić, S; Bogdanović, B; Mišan, A; Duarte, CMM; Serra, AT. 2020. Comparison between polyphenol profile and bioactive response in blackthorn (*Prunus spinosa* L.) genotypes from north Serbia-from raw data to PCA analysis. *Food Chemistry* 302:1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125373>.

Ramírez H., A; Moreno L., F; Ruiz, RY. 2012. Crioconcentración en bloque de soluciones acuosas de café. *Vitae* 19(1):s54-s56.

Ramos, JF; Huam, CL. 2017. Crioconcentración Del Zumo De Yacón. s.l., s.e.

Ruiz, Y; Sánchez, J; Auleda, J.; Hernandez, E; Raventós, M. 2008. Aplicaciones de la crioconcentración en la industria agroalimentaria. Revisión (en línea). s.l., s.e. p. 6. Disponible en <http://hdl.handle.net/2117/2504>.

Sanchez, J; Gonzales, R. 2019. Aplicaciones de la crioconcentración en la industria de alimentos. 12(3):45-56.

Sanchez, M. 2020. *Syzygium cumini*. Powdered Crude Drug Microscopy of Leaves and Barks 25(1912):119-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818092-1.00023-3>.

Vásquez-Castillo, F de M; Hernández, E; Achaerandio, I. 2024. Centrifugal filtration enhances the block freeze concentration and recovery of bioactive compounds from pomegranate juice. *Lwt* 214(November). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117153>.

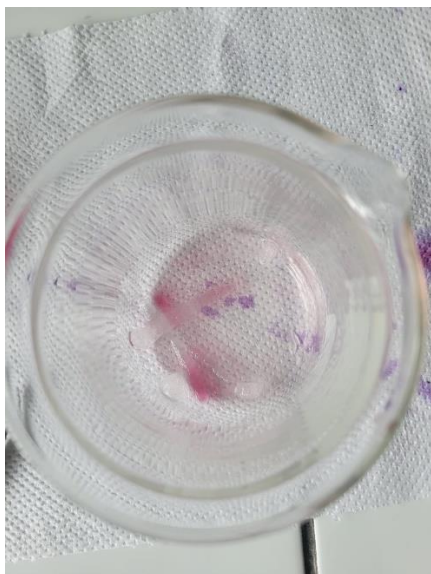
Wrolstad, RE; Smith, DE. 2017. Color Analysis. :545-555. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Fruta de Jambolan

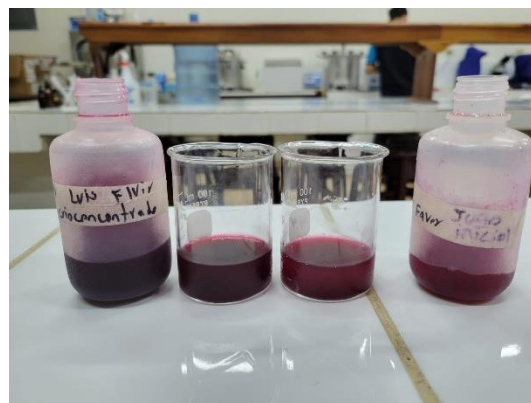


Anexo 2. Proceso de crioconcentración





Anexo 3. Jugo inicial y jugo crioconcentrado



Anexo 4. Análisis químicos

