



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Liofilización y caracterización de pulpa de *Annona muricata* (guanábana)

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Jaime Guerra García

ASESOR:

Ing. M.Sc. Enrique Terleira García

Tarapoto – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Liofilización y caracterización de pulpa de *Annona muricata* (guanábana)

AUTOR:

Jaime Guerra García

Sustentada y aprobada el 02 de agosto del 2021, por los siguientes jurados:


.....
Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge

Presidente


.....
Ing. Mg. Merlina Del Aguila Hidalgo
Vocal


.....
Ing. Dr. Enrique Navarro Ramirez

Secretario


.....
Ing. M.Sc. Enrique Terleira Garcia
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Jaime Guerra García, con DNI N° 43449206, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Liofilización y caracterización de pulpa de *Annona muricata* (guanábana)**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 02 de agosto del 2021.



Bach. Jaime Guerra García
DNI N°: 43449206

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	GUERRA GARCIA JAIME		
Código de alumno :	082164	Teléfono:	959563372
Correo electrónico :	jaimeguerragarcia3@gmail.com DNI: 413449206		

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
Escuela Profesional de:	INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	LIOFILIZACION Y CARACTERIZACION DE PULPA DE ANNONA MURICATA (GUANABANA)
Año de publicación:	2021

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

18 / 10 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis padres por su ayuda incondicional para alcanzar mis metas. Asimismo, a mi esposa por su ayuda incondicional.

Agradecimientos

A Dios por darme la oportunidad de vivir y por permitirme alcanzar uno de mis sueños. Gracias Dios por la fortaleza y voluntad que me diste para terminar esta carrera y seguir cumpliendo mis objetivos.

A la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto y a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por acogerme en sus aulas, brindándome la oportunidad de estudiar y ser parte de esta prestigiosa carrera profesional.

Índice general

Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Descripción de la guanábana.....	4
1.2 Aspectos taxonómicos.....	4
1.3 Valor nutricional de los frutos de la guanábana.....	5
1.3.1 Características físicas de los frutos de la guanábana.....	5
1.3.2 Composición química de la pulpa de guanábana.....	6
1.4 Liofilización.....	8
1.4.1 Ventajas y desventajas de la liofilización.....	9
1.4.2 Etapas del secado por sublimación.....	10
1.5 Definición de términos básicos.....	11
CAPÍTULO II.....	13
MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
2.1 Materiales.....	13
2.1.1 Materia prima.....	13
2.1.2 Materiales de laboratorio.....	13
2.1.3 Reactivos.....	13
2.1.4 Equipos.....	14
2.2 Métodos.....	14
2.2.1 Obtención de la pulpa de guanábana.....	14
2.2.2 Determinación de la composición proximal.....	17
CAPÍTULO III.....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
3.1 Composición de la pulpa de guanábana.....	19
3.2 Efecto de los tratamientos sobre la pérdida de vitamina C.....	20
3.2.1. Pruebas de hipótesis preliminares para análisis paramétrico.....	20
3.2.2. Análisis de varianza factorial.....	20
3.2.3. Efectos principales.....	21

3.2.4. Efectos de interacciones dobles	23
3.2.5. Efectos de la interacción triple	27
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS	37

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía de la guanábana	5
Tabla 2. Parámetros físicos y de calidad de la guanábana.....	6
Tabla 3. Caracterización química de la pulpa de guanábana.....	7
Tabla 4. Análisis fisicoquímico de pulpas de guanábana.....	7
Tabla 5. Composición química porcentual de la pulpa de guanábana por 100 g	19
Tabla 6. Análisis de la pulpa de guanábana liofilizada	19
Tabla 7. Prueba de normalidad de los tratamientos.....	20
Tabla 8. Análisis de varianza factorial	21
Tabla 9. Prueba Tukey para la interacción espesor y presión	24
Tabla 10. Prueba Tukey para la interacción espesor y porcentaje de aglomerante	25
Tabla 11. Prueba Tukey para la interacción presión y porcentaje de aglomerante	26
Tabla 12. Prueba Tukey para la interacción del espesor, presión y el aglomerante.....	30

Índice de figuras

Figura 1. Planta, fruto y pulpa de guanábana	4
Figura 2. Representación de un sistema de liofilización	8
Figura 3. Diagrama de fases del agua.....	9
Figura 4. Etapas del proceso de liofilización.....	10
Figura 5. Flujograma para la obtención de pulpa de guanábana liofilizada	15
Figura 6. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor	22
Figura 7. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto de la presión.....	22
Figura 8. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del porcentaje de aglomerante	23
Figura 9. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor y la presión.....	24
Figura 10. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor y el aglomerante.....	25
Figura 11. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto de la presión y el aglomerante	26
Figura 12. Pérdida de vitamina C por efecto del espesor, la presión y el aglomerante (0.5%)	27
Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (0.5%).....	28
Figura 14. Pérdida de vitamina C por efecto del espesor, la presión y el aglomerante (1.5%)	28
Figura 15. Gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (1.5%).....	29

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del espesor, la presión y el porcentaje de aglomerante en la conservación de *Annona muricata* por liofilización. Para ello, en primer lugar, se obtuvo la pulpa de guanábana. Luego se seleccionó un diseño de tres factores: Espesor (cm) con dos niveles 0.5 y 1.5 cm, Presión (mbar) 0.002 y 1.650 mbar, Porcentaje de aglomerante (%) 0.5% y 1.5%. El número total de tratamientos fue ocho con tres repeticiones, haciendo un total de 24 unidades experimentales. Las pérdidas porcentuales de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada fue menor para el espesor de 0.5 cm (15.84%); presión de 0.002 mbar (16.13%); porcentaje de aglomerante de 0.5% (15.56%). Asimismo, para la interacción espesor y presión la pérdida fue menor para 0.5 cm*0.002 mbar (12.63%); para la interacción espesor y porcentaje de aglomerante la pérdida fue menor para 0.5 cm*0.5%; 1.5 cm*0.5% y 0.5 cm*1.5% (13.93%); mientras que, para la interacción presión y porcentaje de aglomerante, la pérdida fue menor para 0.002 mbar*0.5%; (13.01%). Por otro lado, interacción del espesor, la presión y el porcentaje de aglomerante, se obtuvo un menor porcentaje de pérdida de vitamina C, para 0.5 cm*0.002*mbar*0.5% (13.01%). Se concluye que menores valores del espesor, presión y porcentaje de aglomerante; permiten conservar mejor la vitamina C de la pulpa de guanábana.

Palabras clave: Liofilización, Guanábana, Criodeshidratación, Vitamina C.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the effect of thickness, pressure and binder percentage on the preservation of *Annona muricata* by freeze-drying. First, soursop pulp was obtained. Then a three-factor design was selected: Thickness (cm) with two levels 0.5 and 1.5 cm, Pressure (mbar) 0.002 and 1.650 mbar, Binder percentage (%) 0.5% and 1.5%. The total number of treatments was eight with three replicates, making a total of 24 experimental units. The percentage losses of vitamin C from freeze-dried soursop pulp was lower for thickness 0.5 cm (15.84%); pressure 0.002 mbar (16.13%); binder percentage 0.5% (15.56%). Likewise, for thickness and pressure interaction the loss was lower for 0.5 cm*0.002 mbar (12.63%); for thickness and binder percentage interaction the loss was lower for 0.5 cm*0.5%; 1.5 cm*0.5% and 0.5 cm*1.5% (13.93%); while, for pressure and binder percentage interaction, the loss was lower for 0.002 mbar*0.5%; (13.01%). On the other hand, interaction of thickness, pressure and binder percentage, a lower percentage of vitamin C loss was obtained for 0.5 cm*0.002*mbar*0.5% (13.01%). It is concluded that lower values of thickness, pressure and binder percentage allow better preservation of vitamin C in soursop pulp.

Key words: Freeze-drying, Soursop, Cryodehydration, Vitamin C.



Introducción

La *Annona muricata* (guanábana) es un árbol frutal que crece en el tropical; es apreciada por su pulpa muy agradable, sub ácida, aromática y jugosa, excelente para hacer bebidas y sorbetes y, aunque ligeramente ácida, se puede comer directamente. La pulpa de *Annona muricata* (guanábana) es ampliamente utilizada para la fabricación de varias mezclas de jugos, néctares, jarabes, batidos, mermeladas, jaleas, conservas y helados; También es una materia prima para polvos, barras de fruta y copos (Telis-Romero et al., 2007).

La guanábana es una fruta promisoría, principalmente por su contenido de compuestos fenólicos, que le confieren un potencial antioxidante de la pulpa. Asimismo, es importante también su contenido de vitamina C y minerales como potasio, fósforo, magnesio, zinc y hierro (Batista, et, al., 2007).

Las pulpas y jugos se caracterizan por poseer una variada gama de compuestos nutricionales que les confiere un atractivo especial a los consumidores. Están compuestas de agua en un 70 a 95%, pero su mayor atractivo desde el punto de vista nutricional es su aporte a la dieta, principalmente vitaminas, minerales, enzimas y carbohidratos como la fibra.

Según algunos estudios científicos, el extracto de guanábana es bueno para combatir las células cancerosas, no afectando a las células sanas a diferencia de la quimioterapia que ataca a ambas sin discriminar. En la medicina tradicional todas las partes de la planta son usadas, la hoja, la corteza y la fruta son utilizadas para curar muchas enfermedades como la diabetes, al regular la concentración de glucosa en la sangre. La guanábana protege el sistema inmunológico de las personas evitando las infecciones. Es una fruta que ayuda a la buena digestión y tiene propiedades diuréticas. Algunas personas la consumen para evitar enfermedades del colon, como el colon irritable y el estreñimiento. Las semillas se usan para combatir los parásitos intestinales y las hojas se utilizan en infusión para el sistema nervioso.

De acuerdo con Sifuentes (2019), la pulpa de guanábana, se utiliza para reducir los niveles de colesterol y triglicéridos. Usando para los problemas de presión arterial, reumatismo, gota, diabetes, raquitismo, catarro, cólico de ovarios. Es consumido por las mujeres en etapa gestacional por contener ácido fólico. Tiene también propiedades dermatológicas, que ayudan a la irritación de la piel. En general la guanábana es una planta con muchísimas

propiedades para curar y prevenir enfermedades, pero lo más importante es la de poder combatir el cáncer.

Por otro lado, existen diversas técnicas de deshidratación, para conservar los componentes nutricionales de los alimentos; entre ellas se tiene a la liofilización; la cual es una técnica, que se utiliza para conservar los alimentos mediante la eliminación del agua que contienen. La liofilización se puede dividir en dos fases principales, la fase de congelación y la fase de deshidratación. Esta última se subdivide a su vez en dos fases: etapa de sublimación y etapa de desorción. Es decir, en primer lugar, se congela el producto, luego se elimina el "excedente" de disolvente en la superficie del producto (sublimación) y finalmente, se elimina el disolvente que se ha unido al producto (desorción) (Toulemonde & Desage, 2009).

Asimismo, la liofilización se describe como un proceso de conservación a largo plazo de alimentos sensibles al calor y otros materiales biológicos basados en los fenómenos de sublimación (Ceballos et al., 2012).

Inicialmente, mediante la congelación se separa el agua de los componentes hidratados del producto a través de la formación de cristales de hielo. Luego al sublimar estos cristales de hielo, se elimina el agua del interior del producto. Cuando se ha eliminado todo el hielo, los sólidos que permanecen en el interior todavía tendrán una cierta cantidad de agua en la estructura de sus componentes, esta cantidad de agua se elimina aplicando una cierta cantidad de calor al producto para ser eliminada por evaporación (Rivas, 2014).

La liofilización termina con la etapa de almacenamiento del producto en forma controlada (libre de oxígeno y de vapor de agua), logrando así que tenga una larga vida en anaquel y retenga mejor sus características organolépticas, físicas, químicas y biológicas. Por medio de la liofilización, se logra reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y aroma en los alimentos en mayor proporción que otros sistemas de secado (Ceballos et al., 2012).

Conociendo que la fruta de la guanábana posee carbohidratos, azúcares, fibra, proteínas, vitaminas, calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio, sodio, zinc y gran cantidad de vitamina C, lo que le convierte en un fruto de gran valor y sumamente aprovechable; lo que se pretende de estudiar y experimentar sus condiciones de conservación a través del liofilizado que garantice que los componentes y principios medicinales se conserve en forma de pulpa liofilizada.

Por ello, en el presente estudio, se formula el siguiente problema de investigación ¿Será una alternativa obtener una pulpa de guanábana (*Annona muricata*) liofilizada, que sirva como insumo en la industria de alimentos?

Objetivos

Objetivo general

Obtener y caracterizar la pulpa liofilizada de *Annona muricata*

Objetivos específicos

- Determinar las características físico-química de la pulpa de guanábana, mediante el análisis proximal.
- Determinar el efecto del espesor, la presión y el porcentaje de aglomerante en la conservación de *Annona muricata* por liofilización.
- Determinar el tratamiento óptimo con la menor pérdida de vitamina C, al liofilizar la pulpa de *Annona muricata*

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Descripción de la guanábana

Fue una de las principales frutas en ser llevadas desde el nuevo mundo a otras regiones tropicales.

Es una fruta popular en zonas tan lejanas como el sur de China, Australia y África. El área de distribución natural de la guanábana es desde la región tropical del sur de México, Centro América, el norte de América del Sur y las Antillas. Hoy en día, crece en áreas tropicales y húmedas a nivel mundial ya que es una especie que climas húmedos, baja altitud y no es exigente en cuanto al suelo (Barahona *et al.*, 1992).

En la figura 1, se observa la planta, el fruto y la pulpa de guanábana.

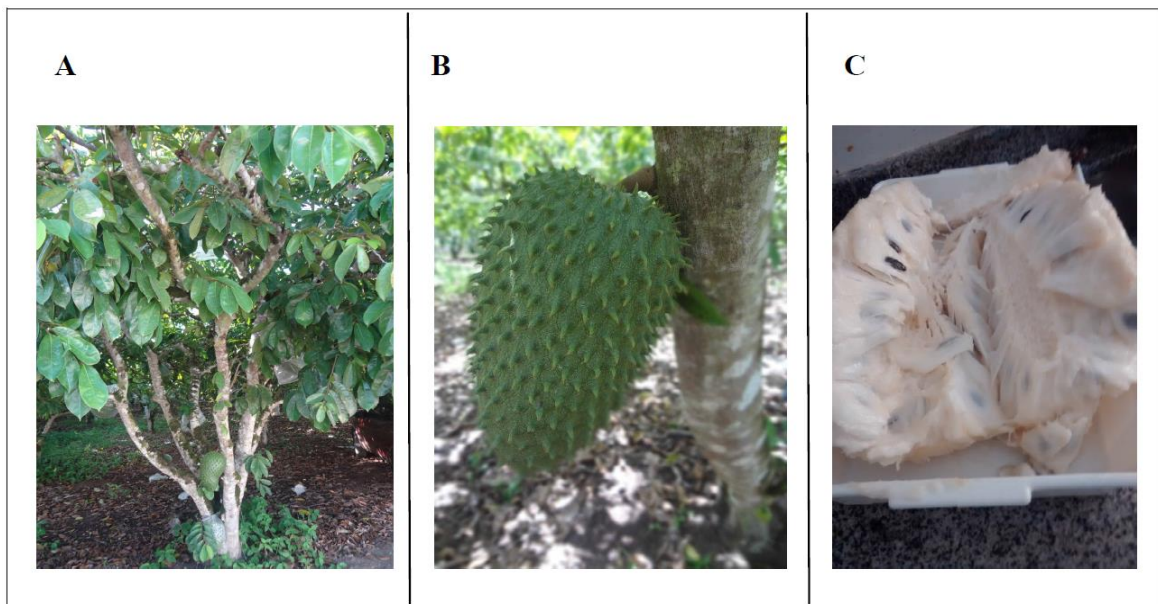


Figura 1. Planta, fruto y pulpa de guanábana. (Fuente: Morais 2016)

1.2 Aspectos taxonómicos

Las especies de la familia Anonácea se caracterizan por el arreglo en espiral de los estambres y carpelos de la flor y por tener semilla con endospermo ruminado. La Guanábana pertenece al género *Guanabá* y a la sección *Evannona* (Chicaiza *et al.*, 2003).

Tabla 1*Taxonomía de la guanábana*

Reino	Vegetal
División	Spermatophytia
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Archylamudae
Orden	Ranae
Familia	Anonácea
Género	Annona
Especie	Maricata L.

Fuente: Chicaiza (2003)

1.3 Valor nutricional de los frutos de la guanábana

El valor nutritivo de la Guanábana destaca por su bajo contenido en grasas, tan solo posee 0,97 gramos por cada 100 gramos de parte comestible, escaso aporte proteico (1 gramo por cada 100 gramos de parte comestible). Mahabir (1995) menciona que es buena fuente de agua 82,8 gramos por cada 100 gramos de parte comestible, lo que lógicamente le hace tener un bajo aporte calórico, para ser más exactos aporta de 53,1 a 63,1 Kcal. Por cada 100 gramos de parte comestible.

También es una moderada fuente de fibra (0,40,79 gramos por cada 100 gramos de parte comestible), y su pulpa contiene glúcidos de fácil metabolización (Alonso, 2004).

El fruto contiene ácido málico y vitaminas como tiamina (0,11 mg por cada 100 gramos de parte comestible), vitamina C (29,6 mg por cada 100 gramos de parte comestible), riboflavina (0,05 mg por cada 100 gramos de parte comestible), provitamina A (5mg por cada 100 gramos de parte comestible.) En cuanto a su contenido mineral la guanábana es fuente de calcio (10,3 mg por cada 100 gramos de parte comestible), fósforo (27,7 mg de por cada 100 gramos de parte comestible), hierro, magnesio y sobre todo potasio (45,8 mg por cada 100 gramos de parte comestible) (Ruiz, 1999).

1.3.1 Características físicas de los frutos de la guanábana

Ávila (2012) manifiesta que muchos de los frutos de la guanábana cuando se encuentran en el estado de madurez fisiológica, no presentan cortes y están enteros, poseen un aspecto

fresco, sano y son firmes al tacto, no muestran daños mecánicos, por hongos, humedad o insectos; además, están exentos de olores extraños y poseen su pedúnculo. Los frutos de estos frutos corresponden a las categorías “I” y “Extra”. Esta clasificación obedece a que presentan golpe de sol y tienen algunos rudimentos estilares quebrados, aunque estos defectos no cubren más del 5% de la superficie del fruto (categoría “Extra”) y no más del 15% de la superficie del fruto (categoría “I”). El 90% de los frutos presentan una masa fresca menor a 1100 g, por lo que usualmente se puede otorgar un calibre “A”. El 10% se encuentra entre los 1101-1700 g, correspondiéndole un calibre “B” según ICOTEC (2003). De acuerdo a la calidad para importación expresada en masa de fruto en regiones como el Reino Unido y Norte América, los materiales vegetales se consideran de tamaño pequeño y mediano (Lawrence, 2007). La tabla 2 resume la calidad de los frutos y algunas de sus dimensiones. Se muestran los valores mínimos y máximos de las evaluaciones (Ávila, 2012)

Tabla 2

Parámetros físicos y de calidad de la guanábana

Parámetros	Valores	
	Mínimo	Máximo
Masa fruto (g)	547	1249
Categoría	I	Extra
Calibre	A	B
Número de semillas	51	145
Diámetro ecuatorial (cm)	29	41
Diámetro polar	18	24

Fuente: Ávila (2012)

Con respecto al rendimiento según Ávila (2012), indica que la guanábana se caracteriza por tener un elevado rendimiento de pulpa por fruto, lo que la hace muy atractiva a nivel comercial y que los rendimientos generalmente se encuentran entre un 62-82%, las mermas en el orden del 0.1 al 1%, sin embargo, Márquez (2009) indica que se encuentran en el rango de 61-66% para el sexto día de postcosecha y las mermas en el orden del 10%.

1.3.2 Composición química de la pulpa de guanábana

Ojeda et al. (2007) reportaron para pulpa de guanábana tiene valores de pH entre 5.29 y 5.69; sólidos solubles totales 13.10 y 24.30 °Brix.

Tabla 3*Caracterización química de la pulpa de guanábana*

Análisis	Mínimo	Máximo	N
pH	5.29	5.69	27
Sólidos solubles totales pulpa (°Brix)	13.10	24.30	27
Ácido málico (%)	0.67	1.04	9
Vitamina C (mg ácido ascórbico por 100 g de porción comestible)	19.33	40.57	18

Fuente. Ojeda et al. (2007)

Asimismo, en la tabla 4, se presenta el análisis físico-químico de pulpa de guanábana. Es importante resalta el contenido de vitamina C, siendo los valores mínimo y máximo respectivamente de 19.35 y 20.84 mg por 100 g de pulpa fresca.

Tabla 4*Análisis fisicoquímico de pulpas de guanábana*

Análisis	Mínimo	Máximo
pH	3.80	4.20
Acidez titulable (g de Ácido cítrico/100 g)	0.40	0.60
Sólidos solubles totales pulpa (°Brix a 20°C)	14.00	15.20
Índice de madurez (°Brix/% Ac)	25.20	36.80
Azúcares totales (g/100g)	13.80	18.00
Humedad (%)	78.46	80.79
Proteína (g/100 g)	0.94	1.39
Grasa (g/100 g)	0.51	0.80
Fibra (g/100 g)	0.74	0.96
Ácido Ascórbico/100 g	19.35	20.84

Fuente. Ojeda et al. (2007)

La pulpa de guanábana es ligeramente ácida; los rangos de pH se ubican en el intervalo de 3,9 a 4,3 similar al reportado por Machado et al. (1998). El pH además de ser una medida de intensidad del sabor ácido de un producto, es muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos y en la actividad de sistemas enzimáticos (Medina y Pagano, 2003).

En la composición química de la pulpa de *A. muricata*, se encuentran azúcares, taninos, pectinas, vitamina A, vitamina C, vitaminas del complejo B, calcio, potasio, alcaloides, terpenoides, carbohidratos, polifenoles, lípidos y ácidos aminados; mientras que las hojas,

cáscaras y raíces presentan varios fitoquímicos, siendo las semillas ricas en acetogeninas, las cuales también se encuentran en los órganos antes mencionados (Luna, citado por Morais, 2016).

1.4 Liofilización

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y en el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Alzate, 2008).

Por otro lado, para Snik (2020), la liofilización, se basa en principio físico de la sublimación. Asimismo, es un proceso que permite remover el contenido de agua de un alimento o un producto, para volverlo más estable a la temperatura ambiente y así facilitar su conservación.

Pliske (2018), señala que la liofilización es un método de secado suave, pero también requiere mucho tiempo.

En la figura 2 se muestra los componentes de un sistema de liofilización. En el cual se observa que la bomba de vacío cumple un papel fundamental, ya que permite la disminución de la presión, hasta valores menores al punto triple; permitiendo con ello la sublimación del agua del alimento.

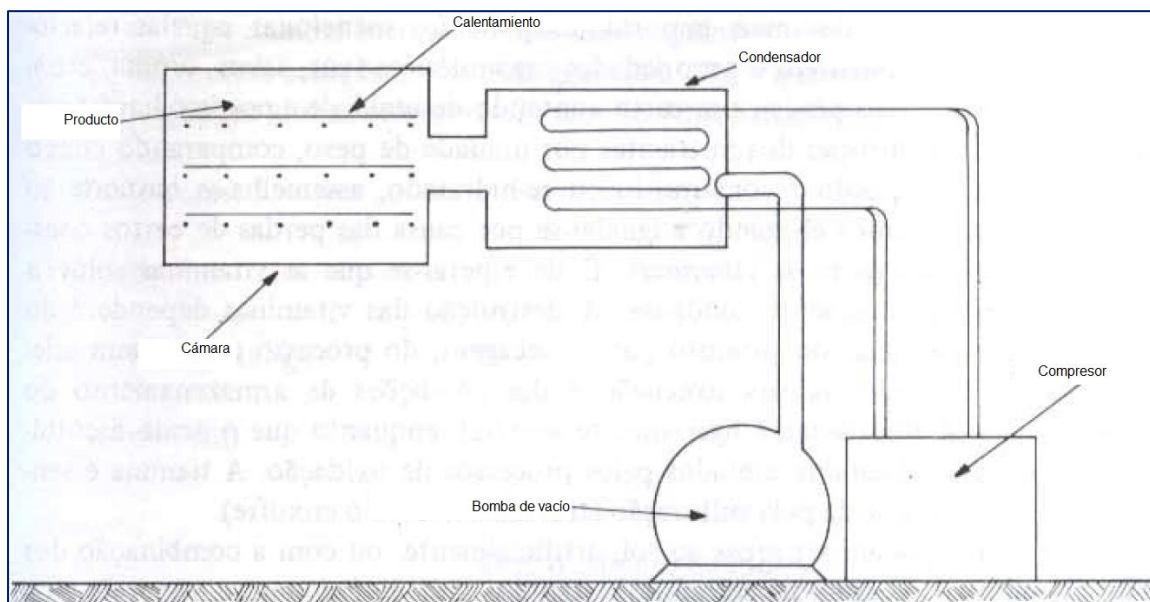


Figura 2. Representación de un sistema de liofilización. (Fuente: Gualberto 2006)

Para comprender el proceso de liofilización es importante tener en cuenta los cambios de fase del solvente (agua), específicamente la sublimación. Este es un proceso físico que consiste en el cambio de fase del agua desde el estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido, como se muestra en la figura 3; aunque para ello se requiere de presiones y temperaturas inferiores al punto triple.

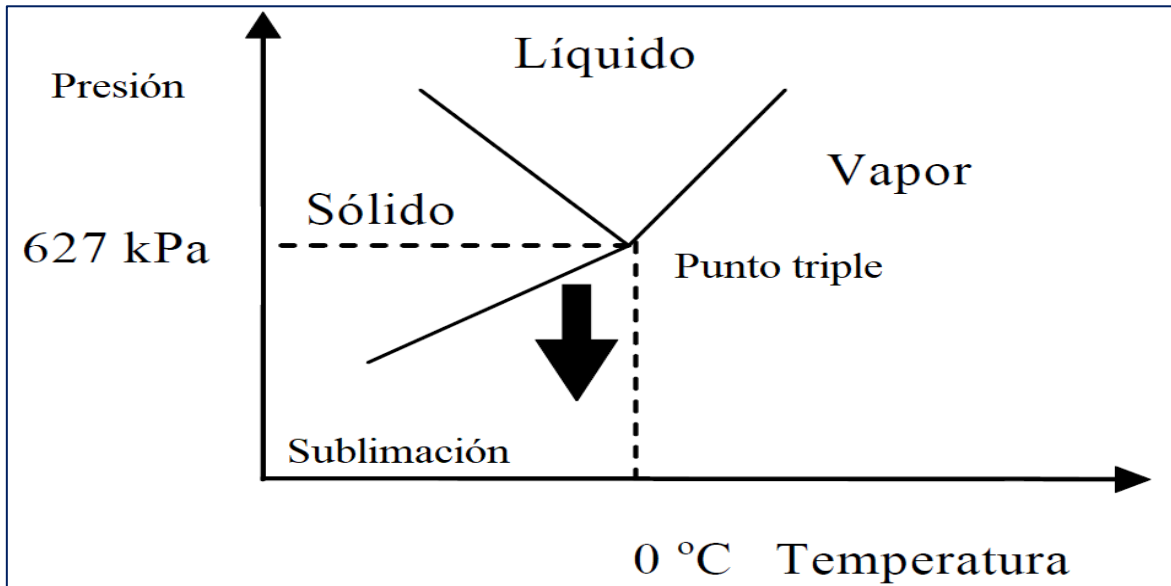


Figura 3. Diagrama de fases del agua. (Fuente: Cavalcanti et al., 2005).

1.4.1 Ventajas y desventajas de la liofilización

Entre las ventajas y desventajas del proceso de liofilización se consideran a las siguientes (Toulemonde & Desage, 2009).

a. Ventajas

- Permite que los alimentos se conserven con sabor y cualidades nutricionales comparables a los productos frescos.
- Después de la liofilización, el producto no requiere refrigeración u otro tratamiento especial mientras permanezca seco.
- El peso de los alimentos se reduce considerablemente, ya que se elimina toda el agua, tanto el agua libre como el agua ligada.
- Con la liofilización también se consigue una ventaja de transporte, ya que, con un menor peso, la rentabilidad se mejora aún más.
- La rehidratación de un producto liofilizado es la más rápida y sencilla. Solo requiere agua sin condiciones especiales.

b. Desventajas

- Es una técnica de deshidratación cara, especialmente en relación al equipo y al personal calificado que requiere.
- Su aplicación está reservada para áreas bien definidas donde los productos tienen fuertes valores agregados (como medicina, aeronáutica, navegantes, etc.).

1.4.2 Etapas del proceso de liofilización

Cuando se realiza el secado mediante la liofilización se distinguen tres fases o etapas que se esquematizan en la figura 4. Cuando en el proceso de liofilización se comienza el calentamiento, empieza a formarse un frente de sublimación o interfase entre la capa seca y la capa congelada de la muestra, el cual avanza progresivamente. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión.

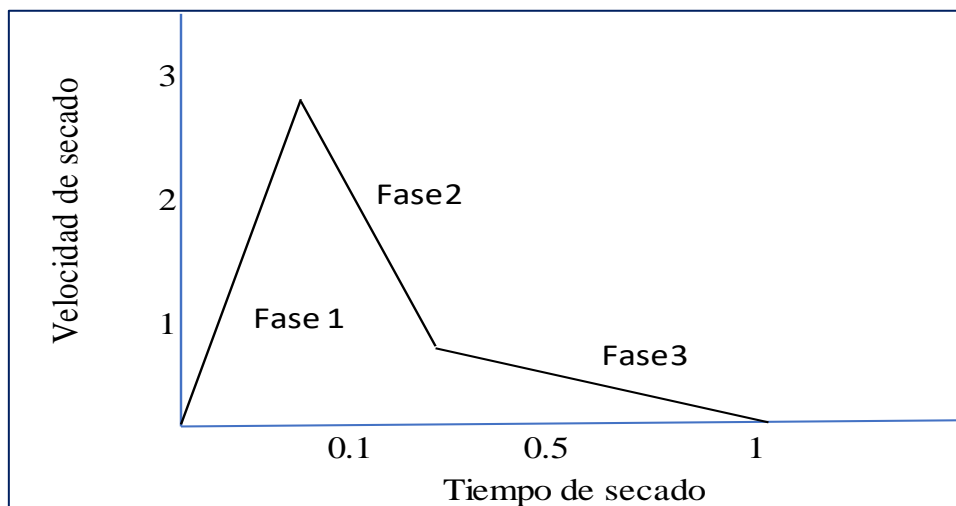


Figura 4. Etapas del proceso de liofilización. (Fuente: Rothmayr 1974).

Las tres fases que se distinguen son: Fase 1: Llamada etapa conductiva. Inicialmente, por el calentamiento de la muestra, la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto, entre un 10 y 15% del tiempo total del proceso (Rothmayr, 1974). Fase 2: Primera etapa difusiva. Muestra un descenso importante de la velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado. Las fases 1 y 2 se denominan secado primario; en ellas se lleva a cabo la mayor parte de remoción de agua del producto (entre un 75-90 %) (Millman et al.,

1984 y Roth, 2000). Fase 3: Segunda etapa difusiva, llamada también secado secundario. La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña, es posible en esta etapa incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate.

Por otro lado, Novaes (2020), presenta cuatro etapas del proceso de liofilización: Inicia en el congelamiento, en el cual el alimento baja a temperaturas entre -50 y -30°C; continúa con la etapa de secado primario, que consiste en reducir la humedad libre del alimento por sublimación, hasta un 10%; luego se tiene la etapa del secado secundario, en el cual se remueve el agua hasta quedar un 3%; y finalmente se tiene la etapa de almacenamiento, la que es necesario tener muy en cuenta para garantizar que se mantengan las características nutricionales y sensoriales del alimento.

1.5 Definición de términos básicos

- Pulpa de guanábana

La guanábana (*Annona muricata*) es originaria del Caribe, Centro y Sudamérica. La fruta es muy delicada, de color verde oscuro, cubierta de espinas suaves. Es relativamente grande y de cáscara muy delgada. Se debe cosechar antes de estar madura. La pulpa es blanca, cremosa, carnosa, jugosa y ligeramente ácida (Méndez *et al.*, 2006).

- Congelación

Es el proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que se comienzan a formar cristales en un material alimenticio. Como operación previa a la liofilización influye determinadamente en características tales como el color y la densidad del producto final, así mismo en la velocidad de sublimación (Ramírez-Navas, 2006).

- Cristalización del agua

Un cristal puede definirse como un sólido formado por átomos, iones o moléculas, que guarda una distribución ordenada y repetitiva. La cristalización es un proceso donde se forman partículas sólidas a partir de una fase homogénea (Roos, 1987).

- Liofilización

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado (Ramírez-Navas, 2006).

- Maduración fisiológica

Cuando la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, y todas sus partes especialmente la semilla, están formadas, maduras y aptas para su reproducción (Pinzón *et al.*, 2007).

- Sublimación

Es cuando en el proceso de liofilización se comienza el calentamiento, empieza a formarse un frente de sublimación o interfase entre la capa seca y la capa congelada de la muestra, el cual avanza progresivamente. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión (Rothmayr, 1974).

- Punto triple del agua

Es la combinación de presión y temperatura en la que los estados de agregación del agua, sólido, líquido y gaseoso (hielo, agua líquida y vapor, respectivamente) pueden coexistir en un equilibrio estable, se produce exactamente a una temperatura de 273.16 K (0.0098 °C) y a una presión parcial de vapor de agua de 611.73 pascales (6.1173 milibares; 0.0060373057 atm) (Yunus, 2004).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Materia prima

La materia prima (guanábanas) se obtuvo de predios de agricultores ubicados en el distrito de Cacatachi; se geo referenciará la ubicación.

Asimismo, como muestra se tomó tres (03) kilogramos de guanábana como fruta fresca.

2.1.2 Materiales de laboratorio

- Placas Petri
- Tubos falcón.
- Pipeta digital de 5 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL y 100 mL.
- Vasos de precipitación de 1000 mL, 500 mL y 50 mL.
- Fiolas de 100 mL y 50 mL.
- Probeta de 100 mL.
- Placas petri medianas de Ø 9 cm.
- Vernier (KAMASA de 20 cm).
- Campana desecadora (Cap. 2 L aprox.).
- Bureta automática de 50 mL.
- Papel aluminio.
- Papel toalla.
- Guantes de Látex.
- Piseta de plástico de 500 mL.

2.1.3 Reactivos

- 2,6 – diclorofenol-indofenol al 1 %
- Material Aglomerante: Goma Arábica
- Ácido Ascórbico
- Ácido Oxálico

2.1.4 Equipos

- Ultrasonido
- Campanas desecadoras
- Liofilizador LABCONCO, modelo 7934042. Capacidad 6 L.
- Balanza analítica (AND GH-200, capacidad 220 g, mínimo 0.001 g).
- Balanza de precisión (SATORIUS BASIC, mínimo 0.01 g)
- Licuadora manual OSTER, potencia 250 W.
- Cocina eléctrica FICHER, temperatura máxima de 600 °C.
- Estufa (MEMMERT, Modelo ED080, 1,20 KW).
- Refrigeradora-Congeladora SAMSUNG.
- Termómetro digital (BOECO, temperatura -50 a +70 °C).

2.2 Métodos

2.2.1 Obtención de la pulpa de guanábana

El flujo de operaciones para obtener la pulpa de guanábana y su posterior liofilización se desarrolló siguiendo los pasos que se muestra en la figura 5. A continuación se describen las operaciones.

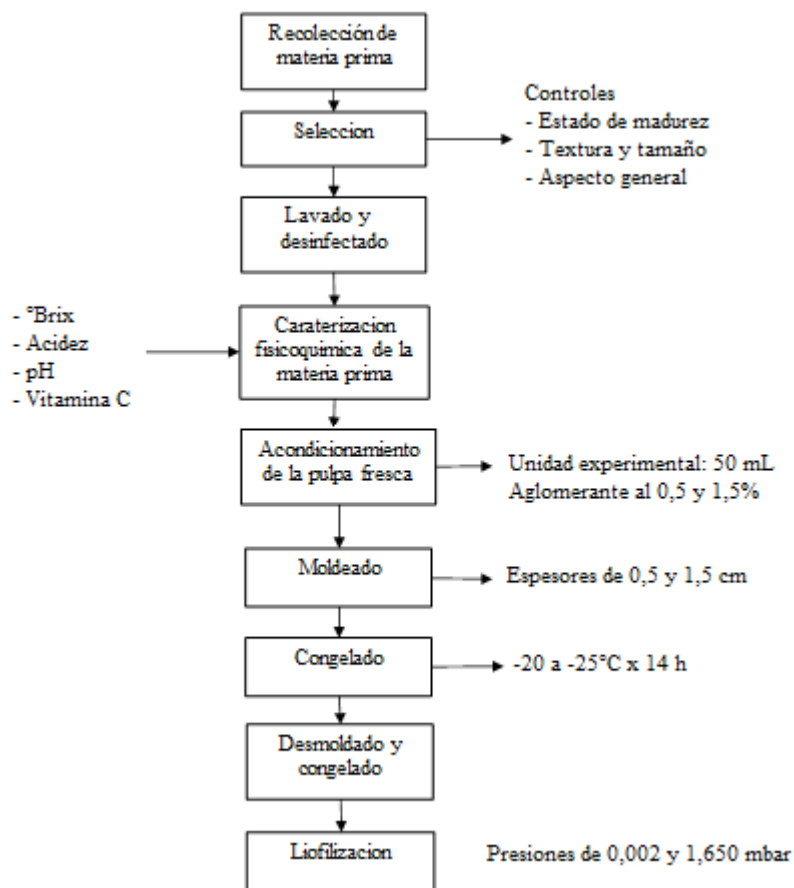


Figura 5. Flujograma para la obtención de pulpa de guanábana liofilizada

A continuación, se describe las operaciones unitarias a desarrollarse en la presente investigación.

a. Obtención de la pulpa de guanábana

Para obtención de la pulpa de guanábana se siguió el siguiente flujograma de proceso

b. Obtención de materia prima

Los frutos de guanábana se recolectaron en un estado de madurez fisiológica con apariencia firme y color característico.

c. Selección

Los frutos de guanábana se seleccionaron de acuerdo a su textura y aspecto general y no, apto para el proceso. Además, se separarán hojas, tallos y otras materias extrañas que pueden encontrar.

d. Lavado y desinfectado

Los frutos de guanábana fueron lavados con agua corriente y desinfectada con agua clorada, utilizando hipoclorito de sodio con una concentración de 50ppm de cloro (FAO, 1996)

e. Caracterización físico-química de la materia prima

Se tomó tres muestras de las cuales se determinó las características físico químico: acidez, pH, solidos solubles (°Brix), humedad y vitamina C.

f. Pulpeado

Para la obtención de la pulpa, se hizo en forma manual utilizando un tamiz o colador, separando la cáscara, semillas y fibras.

g. Rendimiento de Pulpa

Se determinó el rendimiento de pulpa fresca para ello se pesó la cantidad de fruta y cantidad de pulpa obtenida.

h. Caracterización de la pulpa fresca

Se separó 50 mL de pulpa de guanábana para realizar los análisis respectivos de las características de calidad relevantes (Vitamina C, pH, °Brix, ácidos totales).

i. Determinación de la vitamina C

La cuantificación del ácido ascórbico (vitamina C), se efectuó mediante titulación con 2,6-diclorofenol indofenol al 1 %. Donde según la metodología de A.O.A.C. (1998) se hace dicha determinación relacionando los gastos del titulante de una muestra en blanco y una muestra real.

j. Acondicionamiento de la pulpa fresca

El aditivo (Aglomerante) se agregó a 200 mL de pulpa de guanábana de acuerdo a los porcentajes planteados (0,5 y 1,5 %) para cada muestra correspondiente, esto se hizo con ayuda de una licuadora manual, recomendado por (Rojas & Alegría, 2005)

k. Moldeado

Con la ayuda de una probeta se midió 50 mL de pulpa de guanábana, para después colocarlo a su respectivo molde. Esto se realizó por triplicado sugerido por (Hernández, *et al.*, 2011). Para obtener muestras con un espesor de 0,5 cm se utilizó un molde de acero inoxidable de 11 cm de diámetro.

l. Congelado

Para el congelado, las muestras se colocaron en un congelador, a una temperatura de -20 a -25 °C, durante 14 horas (Parzanese, 2008).

m. Desmoldado y congelado

El desmoldado se realizó de forma manual y rápidamente para evitar el descongelamiento de las muestras.

n. Liofilizado

Este proceso se realizó en el liofilizador, donde se ajustó la presión de trabajo deseado, es decir 0,002 o 1,650 mbar dependiendo del plan de experimentación correspondiente. Con un tiempo de liofilización de 14 horas para todas las muestras.

2.2.2 Determinación de la composición proximal

El análisis químico proximal de la pulpa liofilizada de guanábana se realizó por triplicado tal como sigue.

a. Humedad

Se determinó por el método de estufa a presión atmosférica a 105 °C hasta peso constante (A.O.A.C., 1998).

b. Proteína total

Se determinó por el método Kjeldahl (A.O.A.C., 1998).

c. Grasa total

Se determinó por el método de Soxhlet (A.O.A.C., 1998).

d. Ceniza total

Se realizó por el método de incineración de la muestra (AOAC, 1998).

e. Carbohidratos

Se determinó por diferencia (A.O.A.C., 1998). Para ello, se determinó el extracto libre de nitrógeno (ELN), utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{ELN} = 100 - (\% \text{ Proteína} + \% \text{ Lípidos} + \% \text{ Fibra} + \% \text{ Humedad} + \% \text{ Cenizas})$$

f. Fibra total

Se determinó por digestión ácida y alcalina H_2SO_4 al 1,25 % y NaOH al 1,25 % (A.O.A.C., 1998).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición de la pulpa de guanábana

En la tabla 5 se muestra la composición química de la pulpa de guanábana para 100 g. El contenido de agua fue del 83.60%; vitamina C 19.17 mg/100 g; sólidos solubles totales de 14.20 °Brix y pH de 4.16. Estos valores son similares a los encontrados por Cavalcanti et al., (2005), quienes reportan un contenido de agua del 89%; vitamina C de 25.3 mg/100 g; sólidos solubles totales de 10.7 °Brix y un pH de 4.5. Asimismo, Leal et al., (2018) al caracterizar la pulpa de guanábana obtuvo un elevado porcentaje de 83.6%; vitamina C 29.1 mg/100 g y 16.1 °Brix para los sólidos totales. Estas variaciones pueden deberse a las características geográficas y edáficas donde se desarrollaron los cultivos.

Tabla 5

Composición química porcentual de la pulpa de guanábana por 100 g

Componente	Porcentaje
Agua	83.60
Carbohidratos	13.66
Proteína	0.92
Grasa	0.52
Cenizas	0.60
Vitamina C (mg)	19.17
Fibra	0.70
Sólidos solubles (°Brix)	14.20
Acidez titulable (%)	0.86
Índice de madurez	16.51
pH	4.16

Asimismo, en la tabla 6 se muestra el análisis de la pulpa de guanábana liofilizada. Se eligió una muestra del tratamiento 0.5 cm de espesor; 0.002 mbar de presión y 0.5% de aglomerante, por presentar la pérdida de vitamina C (9.91%).

Tabla 6

Análisis de la pulpa de guanábana liofilizada

Análisis	Valor
pH	4.70
Acidez titulable (g/100 g)	0.85
Contenido de agua (g/100 g)	2.10
Color	Blanco

3.2. Efecto de los tratamientos sobre la pérdida de vitamina C

3.2.1. Pruebas de hipótesis preliminares para análisis paramétrico

a. Prueba de normalidad

En la tabla 7 se muestra la prueba de normalidad para los ocho tratamientos. En todos ellos se encontró un p-valor mayor a 0.05; indicando con ello que las poblaciones de las cuales provienen las observaciones (pérdida porcentual de vitamina C) presentan distribución normal, el cual es un supuesto necesario para aplicar la prueba paramétrica como el análisis de varianza.

Tabla 7

Prueba de normalidad de los tratamientos

Código	Tratamiento		Estadístico	GL	p-valor
	Espesor (cm) x	Presión (mbar) x Aglomerante (porcentaje)			
T1	0.5 x	0.002 x 0.5	0.969	3	0.661
T2	0.5 x	0.002 x 1.5	0.995	3	0.870
T3	0.5 x	1.650 x 0.5	0.983	3	0.747
T4	0.5 x	1.650 x 1.5	0.964	3	0.637
T5	1.5 x	0.002 x 0.5	1.000	3	1.000
T6	1.5 x	0.002 x 0.5	0.987	3	0.780
T7	1.5 x	0.002 x 0.5	0.969	3	0.661
T8	1.5 x	0.002 x 0.5	1.000	3	1.000

b. Prueba de homogeneidad de varianzas

Al realizar la prueba de Levene, para los ocho tratamientos del estudio. Se encontró un p-valor igual a 0.911; con lo cual se acepta la hipótesis de homogeneidad de varianzas entre las poblaciones (pérdida porcentual de vitamina C). Por ello, los datos cumplen la homogeneidad de varianzas y se puede aplicar la prueba paramétrica como el análisis de varianza.

3.2.2. Análisis de varianza factorial

En la tabla 8 se muestra el análisis de varianza factorial del efecto del espesor (cm), la presión (mbar) y el porcentaje de aglomerante, sobre la pérdida porcentual de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Se observa que los factores como sus interacciones, tanto dobles como la interacción triple; tienen efecto sobre la pérdida de vitamina C; ya que se

encontró un p-valor menor que 0.05. Asimismo, las variables espesor (cm), la presión (mbar) y el porcentaje de aglomerante; explican el 99.9% de la pérdida porcentual de vitamina C.

Las vitaminas, principalmente el ácido ascórbico, es poco afectado por el proceso de liofilización y las pérdidas son pequeñas. Este es una característica de gran importancia, ya que, en los procesos alimentarios, se busca conservar las propiedades nutricionales y organolépticas de los alimentos (Fellows, citado por Gualberto, 2006).

Asimismo, en el proceso de liofilización, el producto permanece prácticamente inalterado, después del secado, con pequeños túneles, que antes eran llenos de agua líquida, que ahora permanecen vacíos, pero intactos (Fioreze, 2004).

Tabla 8

Análisis de varianza factorial

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo corregido	334 693.00	7	47.81	2246.07	0.000
Interceptación	7 479.72	1	7479.72	351366.64	0.000
Espesor	79.10	1	79.10	3715.69	0.000
Presión	55.85	1	55.85	2623.39	0.000
Porcentaje de aglomerante	104.71	1	104.71	4918.80	0.000
Espesor * Presión	67.70	1	67.70	3180.46	0.000
Espesor * Porcentaje de aglomerante	0.74	1	0.74	34.69	0.000
Presión * Porcentaje de aglomerante	25.44	1	25.44	1195.11	0.000
Espesor * Presión * Porcentaje de aglomerante	1.16	1	1.16	54.36	0.000
Error	0.34	16	0.02		
Total	7 814.75	24			
Total corregido	335.03	23			

3.2.3. Efectos principales

En la figura 6 se muestra la pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor (cm), se obtuvo menor pérdida de vitamina C, con un espesor de 0.5 cm, siendo esta pérdida porcentual de 15.84%. De acuerdo con Amrani & Brigui (2007), el espesor tiene efecto sobre el contenido de agua residual de los productos liofilizados (fresa); es decir a menor espesor, se tendrá menor contenido de agua residual del producto liofilizado.

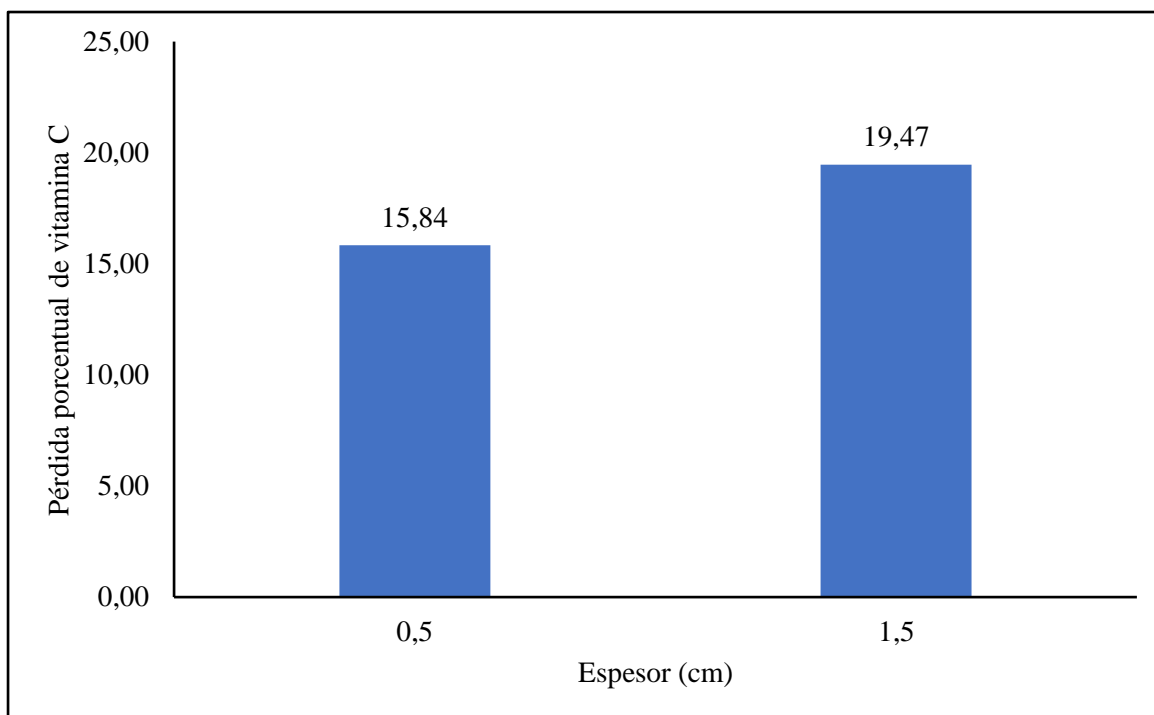


Figura 6. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor

Asimismo, en la figura 7 se muestra la pérdida porcentual de vitamina C por efecto de la presión (mbar), se obtuvo menor pérdida de vitamina C, con una presión de 0.002 mbar, siendo esta pérdida porcentual de 16.13%.

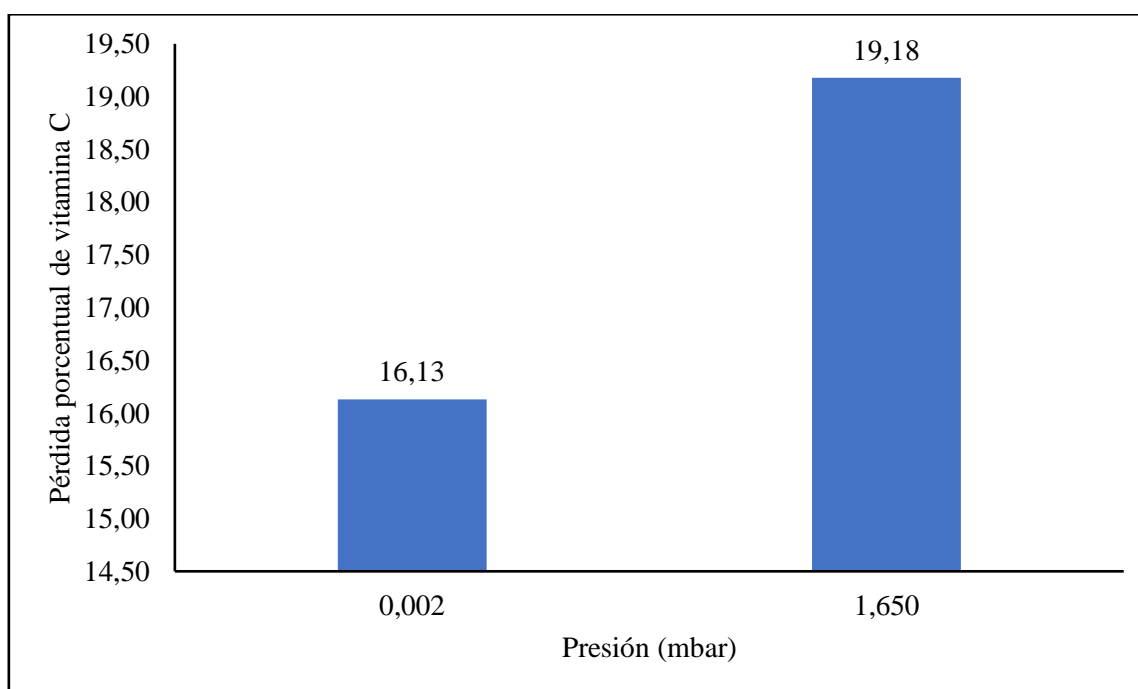


Figura 7. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto de la presión

Asimismo, en la figura 8 se muestra la pérdida porcentual de vitamina C por efecto del porcentaje de aglomerante, se obtuvo menor pérdida de vitamina C, con un porcentaje de aglomerante de 0.5%, siendo esta pérdida porcentual de 15.56%. Nobre et al., (2017), sostienen que, la adición de polisacáridos como coadyuvantes para reducir la higroscopicidad; a las muestras de pulpa a liofilizar tienden a reducir la cantidad de vitamina C en el producto liofilizado; esto se verificó para la pulpa liofilizada de mango. Sin embargo, Moreira (2017), indica que la adición de malto-dextrinas a las muestras a ser liofilizadas, conducen a que el producto sea menos higroscópico; este comportamiento se comprobó en pulpa liofilizada de mango.

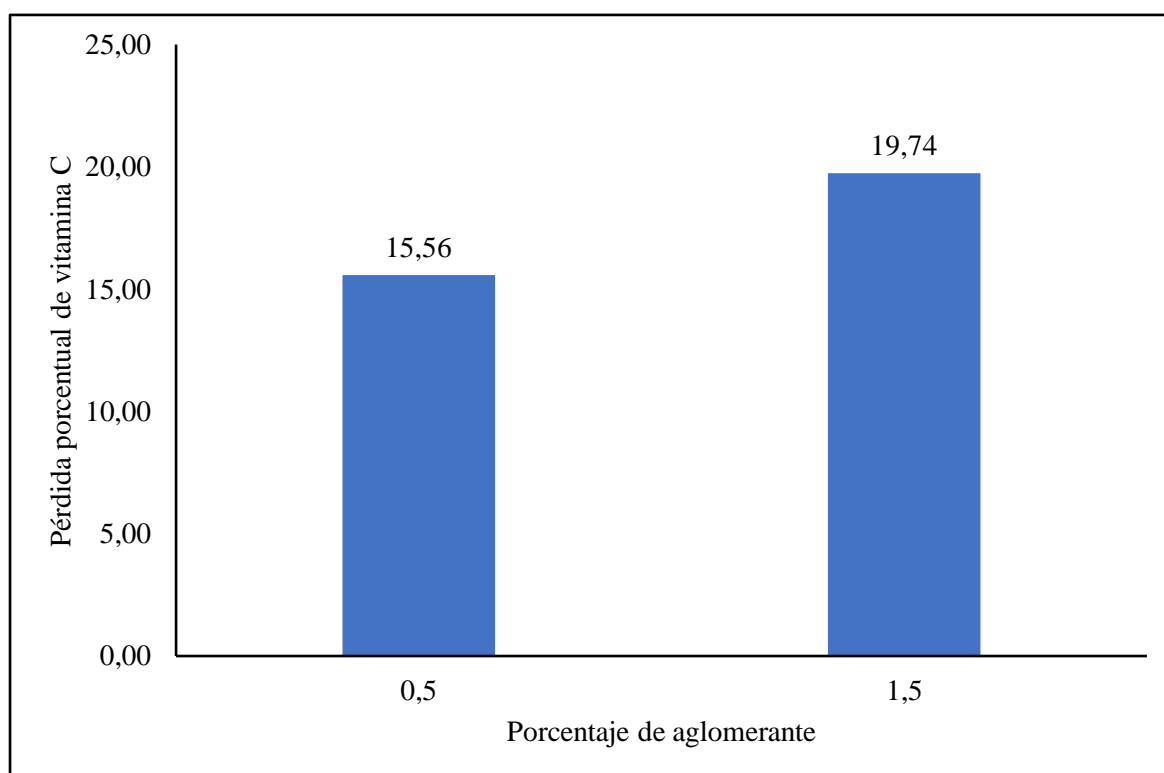


Figura 8. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del porcentaje de aglomerante

3.2.4. Efectos de interacciones dobles

En la figura 9 se muestra el efecto de la interacción del espesor (cm) x presión (mbar) de la muestra, sobre la pérdida porcentual de vitamina C. Se observa un efecto sinérgico de estos dos factores; es decir al aumentar el espesor y la presión simultáneamente; se aumenta la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Por ello, se debe elegir valores bajos de estos factores para reducir la pérdida de esta vitamina.

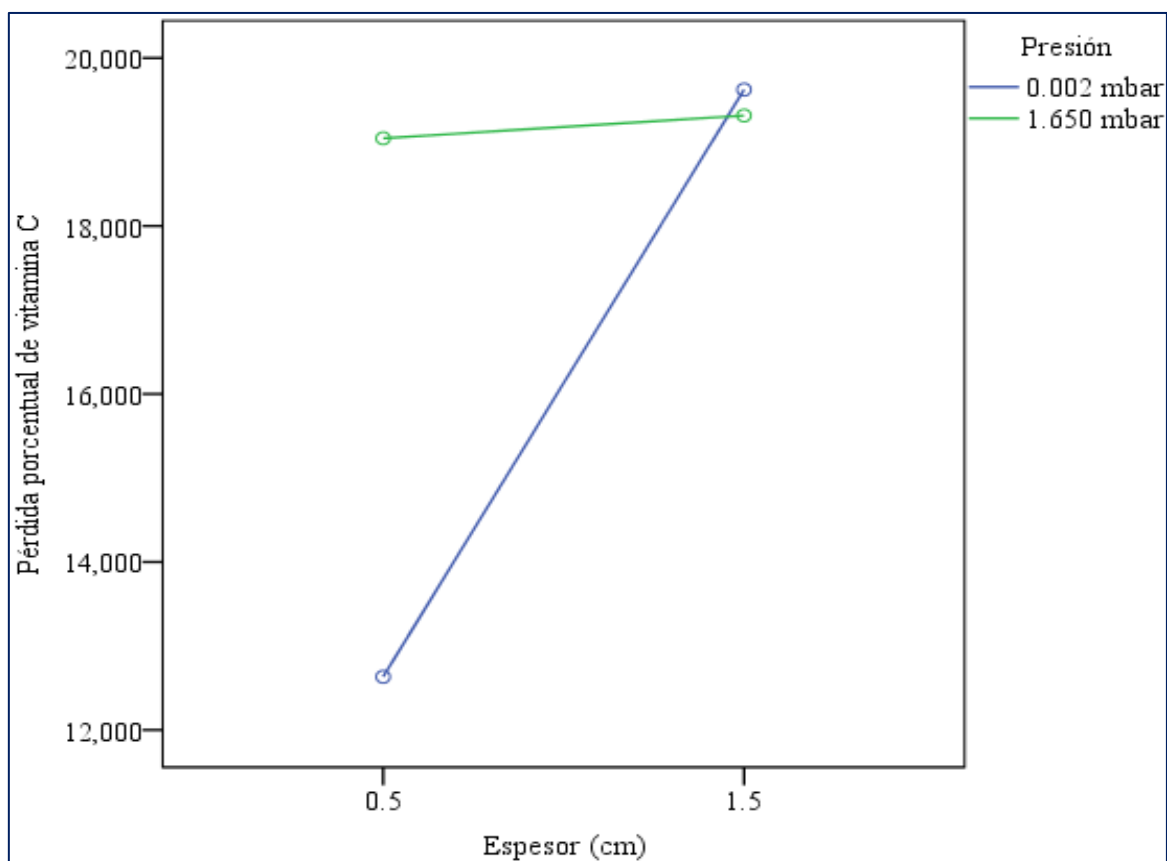


Figura 9. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor y la presión

Asimismo, en la tabla 9 se muestra la prueba Tukey para la interacción del espesor y la presión. Se observa la formación de dos grupos con diferencia significativa. El primer grupo formado por 0.5 cm*0.002 mbar y el segundo grupo formado por 0.5 cm*1.650 mbar; 1.5 cm*1.650 mbar y 1.5 cm*0.002 mbar. El primer grupo presentó menor pérdida porcentual de vitamina C, con un valor de 12.63%.

Tabla 9

Prueba Tukey para la interacción espesor y presión

Espesor * porcentaje de aglomerante	N	Grupos	
		1	2
0.5 cm*0.002 mbar	6	12.63	
0.5 cm*1.650 mbar	6		19.04
1.5 cm*1.650 mbar	6		19.32
1.5 cm*0.002 mbar	6		19.62
p-valor		1.000	0.979

En la figura 10 se muestra el efecto de la interacción del espesor (cm) x aglomerante (%) de la muestra, sobre la pérdida porcentual de vitamina C. Se observa un efecto positivo de estos dos factores; es decir al aumentar el espesor y el porcentaje de aglomerante simultáneamente; se aumenta la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Por ello, se debe elegir valores bajos de estos factores para reducir la pérdida de esta vitamina.

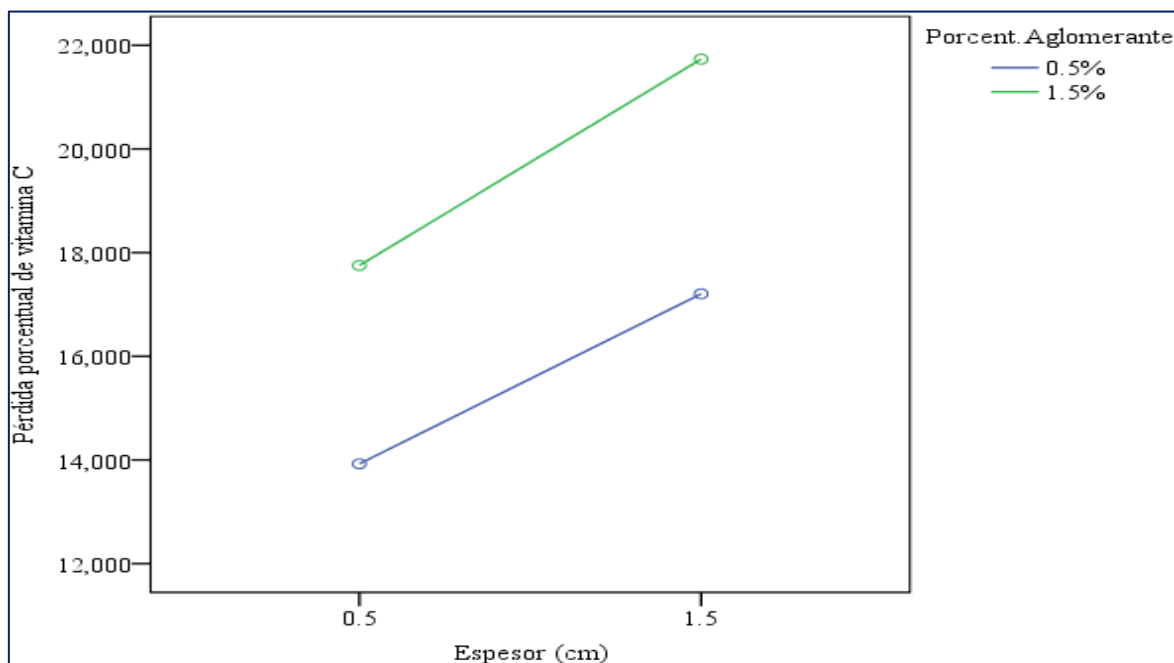


Figura 10. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto del espesor y el aglomerante

Asimismo, en la tabla 10 se muestra la prueba Tukey para la interacción del espesor y el porcentaje de aglomerante. Se observa la formación de dos grupos con diferencia significativa. El primer grupo formado por 0.5 cm*0.5%; 1.5 cm*0.5% y 0.5 cm*1.5%; y el segundo grupo formado por 1.5 cm*1.5%. El primer grupo presentó menor pérdida porcentual de vitamina C, con un valor de 13.93%.

Tabla 10

Prueba Tukey para la interacción espesor y porcentaje de aglomerante

Espesor * Porcentaje de aglomerante	N	Grupos	
		1	2
0.5 cm*0.5%	6	13.93	
1.5 cm*0.5%	6	17.21	
0.5 cm*1.5%	6	17.75	
1.5 cm*1.5%	6		21.73
p-valor		0.106	1.000

En la figura 11 se muestra el efecto de la interacción de la presión (mbar) x aglomerante (%) de la muestra, sobre la pérdida porcentual de vitamina C. Se observa un efecto positivo de estos dos factores; es decir al aumentar la presión y el porcentaje de aglomerante simultáneamente; se aumenta la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Por ello, se debe elegir valores bajos de estos factores para reducir la pérdida de esta vitamina.

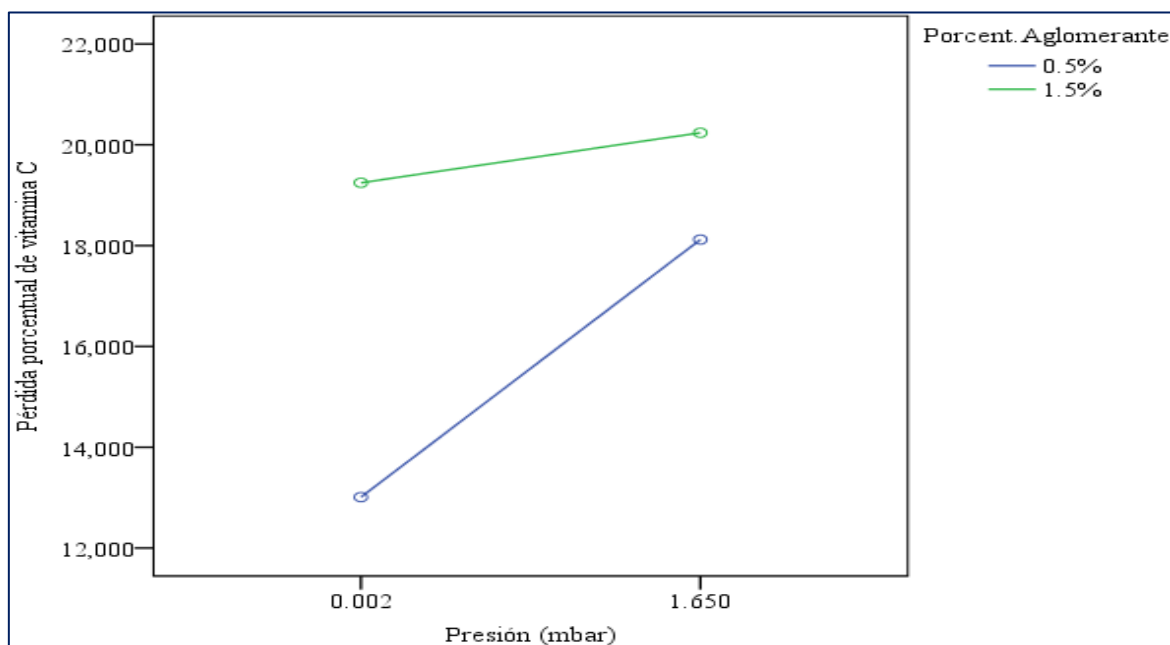


Figura 11. Pérdida porcentual de vitamina C por efecto de la presión y el aglomerante

Asimismo, en la tabla 11 se muestra la prueba Tukey para la interacción la presión y el porcentaje de aglomerante. Se observa la formación de dos grupos con diferencia significativa. El primer grupo formado por 0.002 mbar*0.5%; y el segundo grupo formado por 1.650 mbar*0.5%; 0.002 mbar*1.5% y 1.650 mbar*0.5%. El primer grupo presentó menor pérdida porcentual de vitamina C, con un valor de 13.01%.

Tabla 11

Prueba Tukey para la interacción presión y porcentaje de aglomerante

Presión*porcentaje de aglomerante	N	Grupos	
		1	2
0.002 mbar*0.5%	6	13.01	
1.650 mbar*0.5%	6		18.12
0.002 mbar*1.5%	6		19.25
1.650 mbar*0.5%	6		20.24
p-valor		1.000	.547

3.2.5. Efectos de la interacción triple

En la figura 12 se muestra el efecto de la interacción del efecto del espesor, la presión y el aglomerante (0.5%), sobre la pérdida porcentual de vitamina C. Se observa un efecto positivo de estos factores; es decir al aumentar el espesor y la presión, para un porcentaje de aglomerante de 0.5%; se aumenta la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Por ello, se debe elegir valores bajos de estos factores para reducir la pérdida de esta vitamina.

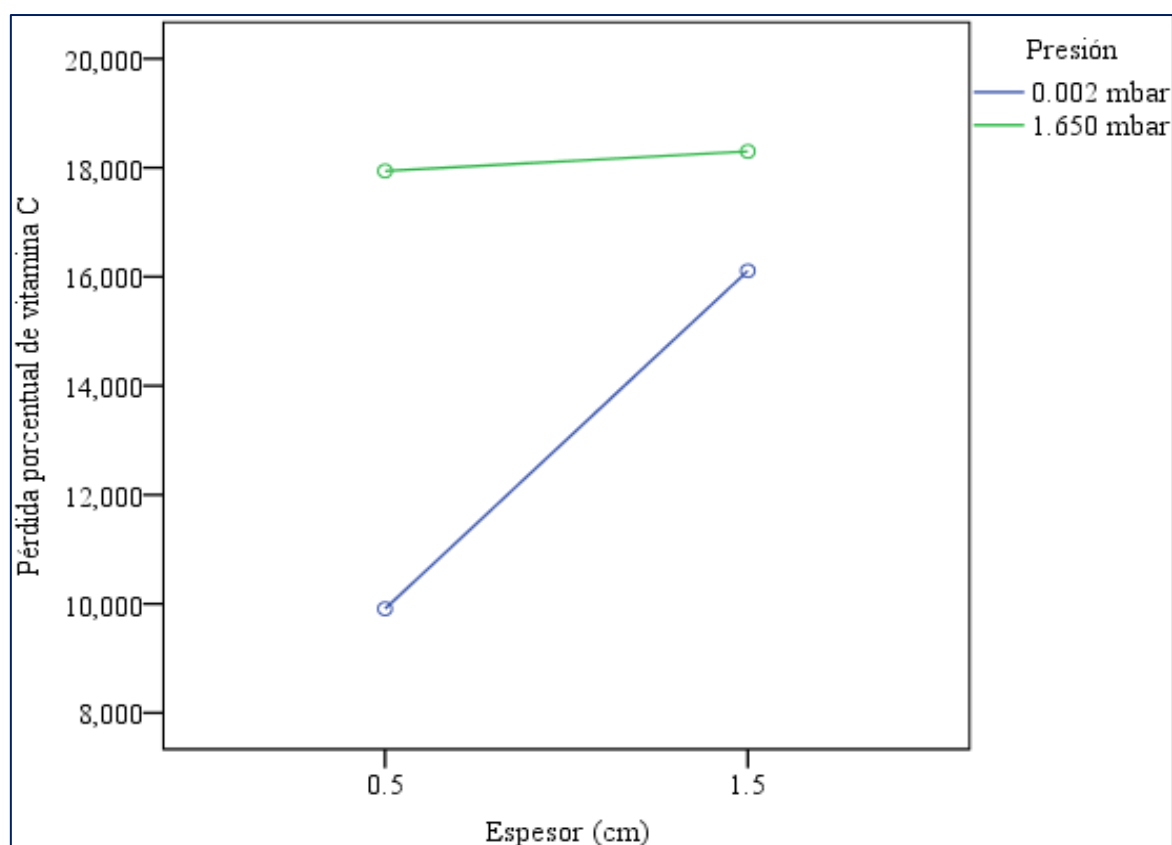


Figura 12. Pérdida de vitamina C por efecto del espesor, la presión y el aglomerante (0.5%)

En la figura 13 se observa el gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (0.5%). Se encontró un valor mínimo de pérdida de vitamina C con 0.5 cm de espesor; 0.002 mbar de presión y 0.5% de aglomerante, siendo la pérdida de 9.91%. Cavalcanti et al., (2005), al liofilizar de pulpa de guanábana, trabajaron con una presión de 0.067 mbar y un espesor de 1.5 cm, señalan que los valores nutricionales fueron alterados, comparados con la pulpa fresca.

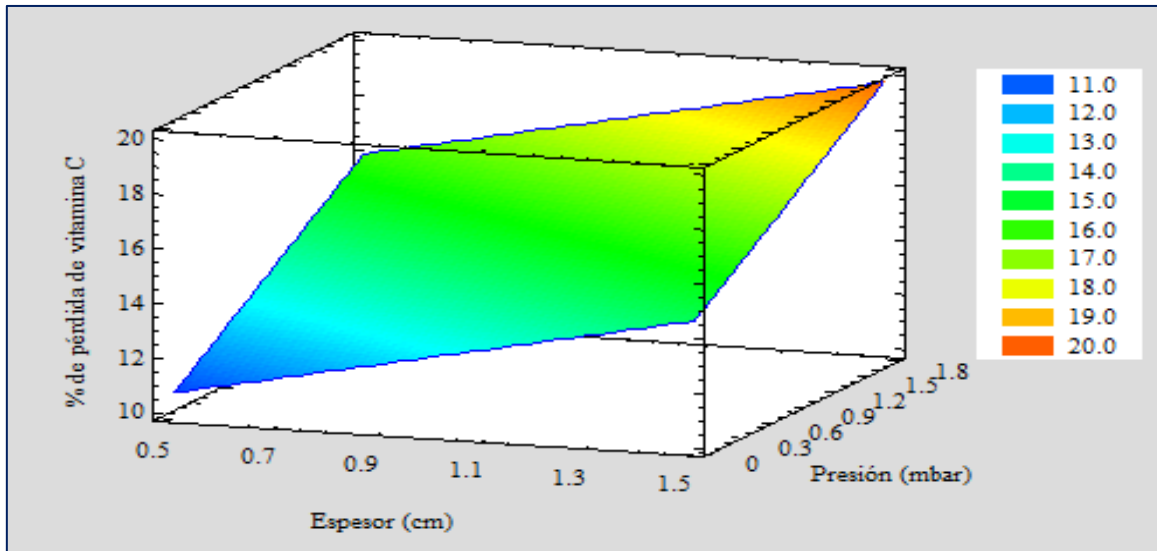


Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (0.5%)

En la figura 14 se muestra el efecto de la interacción del efecto del espesor, la presión y el aglomerante (1.5%), sobre la pérdida porcentual de vitamina C. Se observa un efecto sinérgico de estos factores; es decir al aumentar el espesor y la presión, para un porcentaje de aglomerante de 0.5%; se aumenta la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada. Por ello, se debe elegir valores bajos de estos factores para reducir la pérdida de esta vitamina.

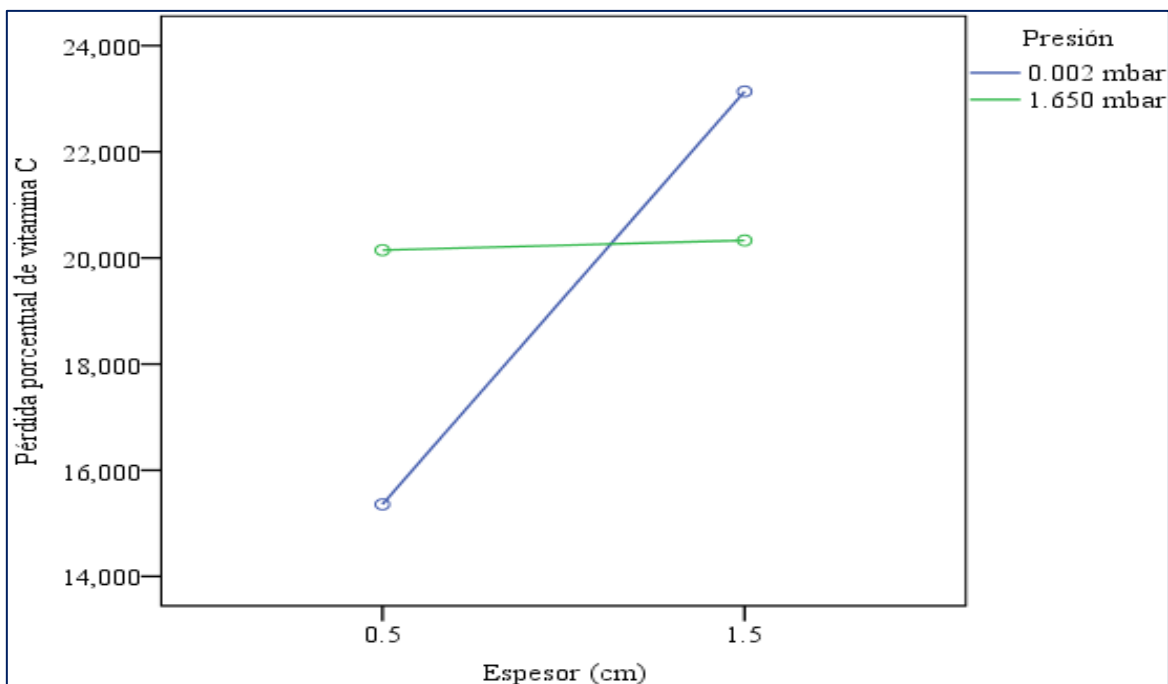


Figura 14. Pérdida de vitamina C por efecto del espesor, la presión y el aglomerante (1.5%)

En la figura 15 se observa el gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (1.5%). Se encontró un valor mínimo de pérdida de vitamina C con 0.5 cm de espesor; 0.002 mbar de presión y 1.5% de aglomerante, siendo la pérdida de 15.36%.

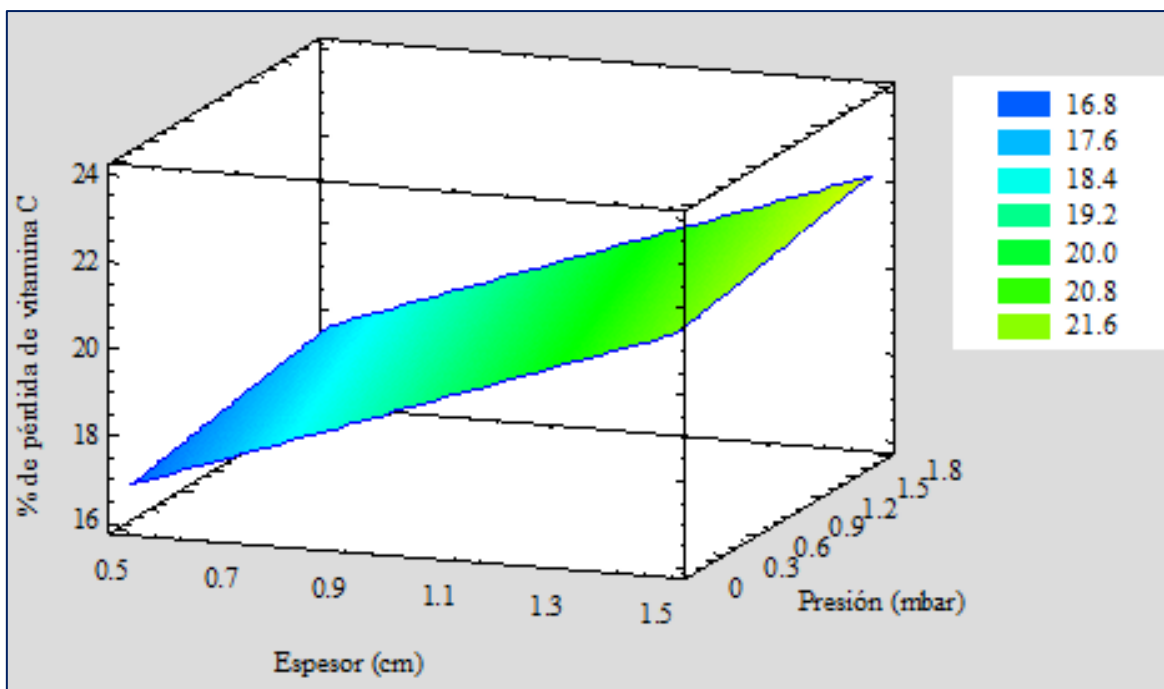


Figura 15. Gráfico de superficie de respuesta para la interacción espesor, la presión y el aglomerante (1.5%)

Asimismo, en la tabla 12 se muestra la prueba Tukey para la interacción del espesor, la presión y el porcentaje de aglomerante. Se observa la formación de seis grupos con diferencia significativa. El primer grupo (0.5 cm x 0.002 x mbar x 0.5%), presentó menor pérdida porcentual de vitamina C, con un valor de 13.01%. Según Correia (2011), un factor decisivo de la liofilización que influye positivamente en la conservación de la vitamina C, de la pulpa de guanábana, es la temperatura de desorción (secado secundario). El mencionado autor encontró una temperatura óptima de desorción de 60°C. A pesar que la velocidad de congelamiento lenta (0.15°C/min) es más adecuada para la liofilización; sin embargo, los cristales formados son mayores, lo cual no es adecuado, ya que puede comprometer las características nutricionales y organolépticas del alimento. De otro lado, la velocidad de congelamiento lenta, puede favorecer algunas reacciones químicas, las cuales son responsables de la pérdida de nutrientes (Novaes, 2020).

Tabla 12*Prueba Tukey para la interacción del espesor, presión y el aglomerante*

Espesor (cm) x Presión (mbar) x Aglomerante (porcentaje)	N	Grupos					
		1	2	3	4	5	6
0.5 x 0.002 x 0.5	3	9.91					
0.5 x 0.002 x 1.5	3		15.36				
1.5 x 0.002 x 0.5	3			16.11			
0.5 x 1.650 x 0.5	3				17.94		
1.5 x 0.002 x 0.5	3				18.30		
0.5 x 1.650 x 1.5	3					20.15	
1.5 x 0.002 x 0.5	3					20.33	
1.5 x 0.002 x 0.5	3						23.14
p-valor		1.000	1.000	1.000	0.111	0.777	1.000

CONCLUSIONES

Del presente estudio se obtuvo las siguientes conclusiones:

- La composición de la pulpa de guanábana fresca fue: agua, 83.60%, carbohidratos 13.66%, proteína 0.92%, grasa 0.52%, cenizas 0.60%, vitamina C 19.17 (mg), fibra 0.70%, sólidos solubles 14.20 °Brix, acidez 0.40%, pH 4.16.
- Asimismo, las pérdidas porcentuales de vitamina C de la pulpa de guanábana liofilizada fue menor para el espesor de 0.5 cm (15.84%); presión de 0.002 mbar (16.13%); porcentaje de aglomerante de 0.5% (15.56%).
- Para la interacción espesor y presión la pérdida fue menor para 0.5 cm*0.002 mbar (12.63%); para la interacción espesor y porcentaje de aglomerante la pérdida fue menor para 0.5 cm*0.5%; 1.5 cm*0.5% y 0.5 cm*1.5% (13.93%); mientras que, para la interacción presión y porcentaje de aglomerante, la pérdida fue menor para 0.002 mbar*0.5%; (13.01%).
- Por otro lado, interacción del espesor, la presión y el porcentaje de aglomerante, se obtuvo un menor porcentaje de pérdida de vitamina C, para 0.5 cm*0.002*mbar*0.5% (9.91%).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios futuros sobre la pérdida de vitamina C de la pulpa de guanábana, utilizando otros factores como la temperatura, ya que algunos autores mencionan que la temperatura de desorción (secado secundario) del proceso, tiene efectos positivos en la conservación de la vitamina C de la pulpa de guanábana.
- Asimismo, se recomienda utilizar espesores de 0.5 cm; presión de 0.002 mbar y 0.5% de goma arábica, para la liofilización de la pulpa de guanábana; ya que, con estos parámetros, se consiguió menores pérdidas porcentuales de vitamina C del producto.
- Por otro lado, se sugiere hacer estudios sobre aceptación del producto, mediante análisis sensorial; ya que muchas veces el producto conserva adecuadamente las características nutricionales; sin embargo, las características organolépticas, también deben tomarse en cuenta, al momento de aplicar una técnica de conservación de alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amrani, M. & Brigui, J. (2007). Impact du procédé de lyophilisation sur la qualité des fraises. *Revista ingeniería e investigación*, 27(2), 51-55.
<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n2/v27n2a07.pdf>
- A.O.A.C. (1998). *Official methods of analysis*. [aut. libro] Association of Oficial Analytical Chemist. 17.
- Alonso, J. (2004). *Tratado de fitofármacos y nutraceuticos*. Rosario - Argentina., Corpus., Pp. 641- 646, 927-930,1037-1041.
- Alzate, C. E. O. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Gobernación de Caldas.
- Ávila, R. (2012). *La guanábana: una materia prima saludable para la industria de alimentos y bebidas*. REDIP-Revista Digital de Investigación y Postgrado, 2(2).
- Barahona, M., & Sancho, E. (1992). Guanábana y macadamia. *Fruticultura Especial (Costa Rica)*, (5).
- Batista, M. O., Rebouças, A., Santos, V., Nair, T. & Pereira, M. (2007). Caracterização química e determinação da atividade antioxidante em massa da graviola (*Annona muricata* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(1), 7-14.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81331357002>
- Cavalcanti, M., Martins, M., Alsemo, G., Rodrigues, E., Guedes, M., Cavalcanti, A. & Albuquerque, C. (2005). Obtenção de graviola em po pelo processo de liofilização. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 7 (2), 165-172.
https://www.researchgate.net/publication/276535018_Obtencao_de_Graviola_em_po_pelo_processo_de_Liofilizacao
- Chicaiza, G. Pucha, M. Utiguen, P. (2003). *Proyecto para la Producción y Exportación de la Guanábana en la Hacienda “María Dolores” del Cantón el Guabo. Provincia del Oro., Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas (ICHE), Carrera de Economía y Gestión Empresarial., Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) (Doctoral dissertation, Tesis., 2003: 27-40).*
- Correia, J. (2011). Estudo do processo de liofilização da polpa da graviola (*Annona muricata* L.) e avaliação da qualidade nutricional e sensorial do produto. Universidade Federal de Sergipe. <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/ANA-CAROLINA-MORAIS-SILVA.pdf>

- FAO. (1996). *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas*. [aut. libro] Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- FEDEAGRO. (2006) *Consumo aparente de frutas en Venezuela* [en línea]. Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/consumo/frutas.asp> (Consultado: 12/06/2011).
- Fioreze, R. (2004). *Princípios de secagem de produtos biológicos*. 1ª ed. Ed. Universitária. João Pessoa – PB.
- Gualberto, N. (2006). *Secagem e liofilização de manga: características físicoquímicas, nutricionais e sensoriais*. Universidade Federal de Campina Grande. <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp092408.pdf>
- Hernández C., Ossa Z., Ramírez L. & Herrera W. (2011). *Influencia del espesor y la temperatura en el secado de carambola (Averrhoa carambola L.)*. Artículo de la Universidad de la Amazonía – Florencia – Caquetá.
- ICOTEC. (2003). *Frutas frescas. Guanábana*. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 5208. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá 12 pp.
- Lawrence, J. (2007) *Postharvest handling of soursop*. *Tropical Fruits Newsletter*. 49. IICA. Disponible en: www.iica.org/TropicalFruits_49postharvestsoursop.pdf.
- Leal, S., Santos, N., Araújo, T., Pessoa, M. & Silva, A. (2018). Caracterização físico-química do fruto do gravioleiro (*Annona muricata L.*). <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00074>
- Machado, C., R. Martínez, M. Marín, D. Esparza y M. Sánchez (1998). *Influencia del tipo de propagación sobre la producción y calidad de los frutos de guanábana (Annona muricata L.) creciendo en el Centro Frutícola del estado Zulia*. Informe. Investigación Agropecuaria. Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. Departamento de estadística, Maracaibo, 26 pp.
- Mahabir, P., (1995). *Plantas Medicinales Iberoamericanas.*, Santa Fe de Bogotá-Colombia., Editorial Converse., pp. 26-27.
- Márquez, C. (2009) *Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la guanábana (Annona muricata L. cv. ELITA)*. Tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de

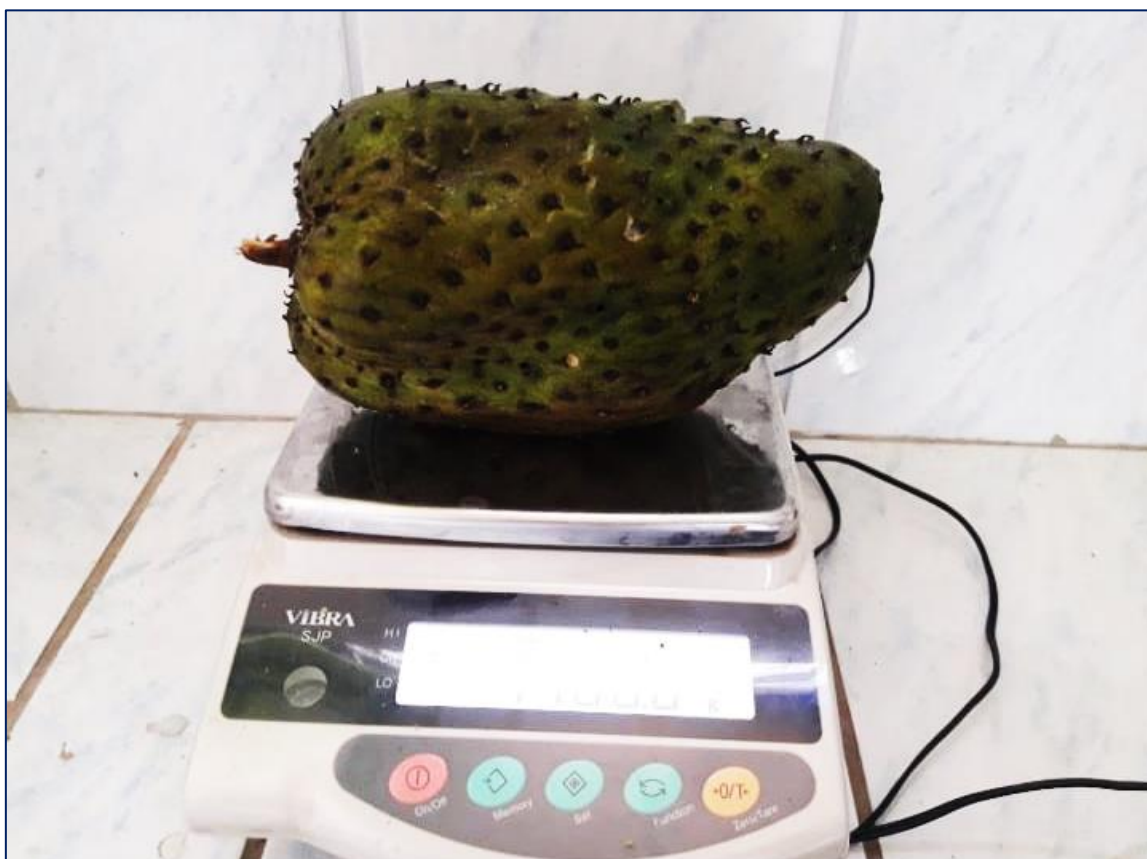
- Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Dpto. Ciencias Agronómicas, Medellín.
- Medina, M. y F. Pagano. 2003. *Caracterización de la pulpa de la guayaba (Psidium guajava L.) tipo "Criolla Roja"*. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 20: 72–86.
- Méndez, L. M., Rojas, J. P., Orrego, C. E. y Cardona, C. A. (2006). *Influencia de las velocidades de congelación en la calidad del deshidratado de guanábana en la liofilización*. En VI Seminario Internacional de Frutas Tropicales. Manizales: Universidad Nacional - Universidad de Caldas - Corpoica.
- Millman, M. J., Liapis, A. I. y Marchello, J. M. (1984). *Guidelines for the desirable operation of batch freeze driers during the removal of free water*. J. Food Technol 19: 725-738.
- Morais, A. C. (2016). *Compostos bioativos da polpa, casca e folhas da gravioleira sob diferentes métodos de secagem*. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/ANA-CAROLINA-MORAIS-SILVA.pdf>
- Moreira, B. K. (2017). *Liofilização de polpa de manga (Mangifera indica L.) c.v tommy atkins: condições de secagem e estabilidade*. Universidade Federal do Ceará. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/23916>
- Nobre, M., Feitosa, R., Melo, A., Melo, A., Borges, A. & Araújo, U. (2017). Caracterização físico-química de polpas de manga 'Rosa' liofilizadas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(5), 902-906. https://www.researchgate.net/publication/324126591_Caracterizacao_fisico-quimica_de_polpas_de_manga_%27Rosa%27_liofilizadas
- Novaes, R. (2020). Princípios básicos de liofilização [Arquivo de video]. https://www.youtube.com/watch?v=tEU0Za_1E4&ab_channel=WebinarsAnal%C3%ADtica
- Ojeda, G., Coronado, J., Nava, R., Sulbarán, B., Araujo, D., Cabrera, L. (2007) *Caracterización físicoquímica de la pulpa de guanábana (Annona muricata) cultivada en el occidente de Venezuela*. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 41:151-160.
- Parzanese, M. (2008). *Liofilización de Alimentos. Alimentos Argentinos - MinAgri: Tecnologías para la Industria Alimentaria*. Ficha N°3, 1-10.

- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). *Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (Passiflora edulis Sims.)*. *Agronomía Colombiana*, 25(1).
- Pliske, R. (2018). *Beschreibung und Optimierung der Vorgänge der dynamischen Gefriertrocknung*. http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2019/1633/pdf/Dissertation_Roland_Pliske.pdf
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). *Liofilización de alimentos*. Revista ReCiTeIA.
- Rojas T. A. & Alegría M. C. (2005). *Influencia de los encapsulantes: Goma Arábiga y dextrina sobre la calidad del camu camu (Myrciaria dubia) liofilizado*. *Anales Científicos, LXI*. Universidad Agraria La Molina – UNALM. Lima, Perú.
- Roos, R.H. (1987). *Effect of moisture on thermal behavior of strawberries stided using differential scanning calorimetry*. *Journal of Food Science* 52:146-149.
- Roth, C. (2000). *Ein Mikro-Waageverfahren zur kontinuierlichen Bestimmung der Sublimationsgeschwindigkeit während der Gefriertrocknung, Den Naturwissenschaftlichen Fakultäten der FriedrichAlexander- Universität Erlangen-Nürnberg zur Erlangung des Doktorgrades, Stuttgart*.
- Rothmayr, W. W. (1974). *Basic knowlwdge of freeze drying. Heat and mass transfer, en Freeze drying and advanced food technology*, S. A. Goldblith, et al., Editores: London, p. 203-222.
- Ruiz, C. A. A., Torres, M. I. O., Yermenos, L. Y. S., & Mañón, D. (1999). *Estudio de seis plantas medicinales dominicanas*. *Acta Medica dominicana*, 21(3), 86-93.
- Sifuentes, C. (2019). *La guanábana*. <https://www.aboutespanol.com/la-guanabana-806839>
- Snik, K. (2020). *La lyophilisation*. <http://kanela.rs/wp-content/uploads/pdf/fr/Lyophilisation.pdf>
- Toulemonde, M. & Desage, S. (2009). *La Lyophilisation ou Cryodessiccation*. https://www.researchgate.net/publication/267140173_La_Lyophilisation_ou_Cryodessiccation/link/544620460cf22b3c14de0968/download
- Yunus A. Cengel, Robert H. Turner (2004) *Fundamentals of thermal-fluid sciences*. McGraw-Hill, p. 78. ISBN 0-07-297675-6.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico

Anexo 1.1 Pesado de la materia prima



Anexo 1.2 Pesado de la pulpa (muestra 1)



Anexo 1.3 Mediciones volumétricas para determinación de vitamina C



Anexo 1.4 Preparación de las muestras para la cuantificación de vitamina C



Anexo 1.5 Liofilización de la pulpa de guanábana (primer grupo de muestras)



Anexo 1.6 Liofilización de la pulpa de guanábana (segundo grupo de muestras)



Anexo 1.7 Liofilización de la pulpa de guanábana (tercer grupo de muestras)

