

**UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO  
FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN  
AGRÍCOLA  
“JULIA HILL DE O’SULLIVAN”**



UNIVERSIDAD DR. JOSÉ  
**MATÍAS DELGADO**  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR C. A.

Extracción y cuantificación de betalainas en cuatro variedades de pitahaya para colorante alimentario.

MONOGRAFÍA, PRESENTADA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

POR:

Hernández Carrillo, Alma Lizeth.  
Recinos Guerrero, Karen Elizabeth.

ASESORES:

Dr. Carlos Miranda.  
Licdo. Miguel Hernández.

ANTIGUO CUSCATLÁN, LA LIBERTAD, 02 SEPTIEMBRE DE 2022

Publicado bajo la Licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada CC BY-NC-ND



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**AUTORIDADES**

Dr. José Enrique Sorto Campbell

**RECTOR**

Dr. David Escobar Galindo

**RECTOR EMÉRITO**

Ing. Luis Enrique Córdova Macías

**DECANO DE LA FACULTAD DE AGRÍCOLA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA  
“JULIA HILL DE O’SULLIVAN”**

**COMITÉ EVALUADOR**

Mtra. Gloria Lucia Sánchez Trejo

**COORDINADOR**

Ing. Roberto Antonio Santos Amaya

**MIEMBRO DEL COMITÉ EVALUADOR**

Ing. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala

**MIEMBRO DEL COMITÉ EVALUADOR**

Dr. Carlos Ernesto Miranda Oliva

Lic. Miguel Ángel Hernández Vásquez

**ASESORES**

**ANTIGUO CUSCATLÁN, LA LIBERTAD, 02 SEPTIEMBRE DE 2022.**



UNIVERSIDAD DR. JOSÉ  
MATÍAS DELGADO  
Facultad de Agricultura  
e Investigación Agrícola

ORDEN DE IMPRESIÓN DE  
LA MONOGRAFÍA

ORDEN No: 21M-IAL-2022

Tema:	<b>"EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE BETALAÍNAS EN CUATRO VARIEDADES DE PITAHAYA PARA COLORANTE ALIMENTARIO"</b>
-------	--

**PRESENTADO POR:**

Nombre completo		Carrera
Egresado 1:	KAREN ELIZABETH RECIOS GUERRERO	Ingeniería en Alimentos
Egresado 2:	ALMA LIZETH HERNANDEZ CARRILLO	
Egresado 3:	.....	
Asesor:	Dr. Carlos Ernesto Miranda Oliva /Lic. Miguel Ángel Hernández Vásquez	

**OMNIA CUM HONORE**

Nombres	Firma	Cargo
Mtro. Gloria Lucía Sánchez Trejo	_____	Coordinador de Comité Evaluador
Ing. Roberto Antonio Santos Amaya	_____	Miembro de Comité Evaluador
Ing. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala	_____	Miembro de Comité Evaluador

*De conformidad con el Acuerdo de Rectoría número 208-2022 de fecha 23 de febrero de 2022, se omiten las firmas de los evaluadores y/o examinadores en la presente acta y para constancia del resultado obtenido, firma*

Nombres	Cargo	Firma	Sello
Ing. Luis Enrique Córdova Macías	Decano		

Fecha de defensa: 2-sep-22

## **Agradecimientos**

A Dios, por habernos dado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería en alimentos y acompañarnos en cada momento de nuestro trabajo de graduación. Gracias por haber puesto a personas de gran calidad humana y profesional durante el desarrollo de nuestra investigación.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional durante nuestros estudios y por todo el amor que vimos reflejado en los sacrificios que tuvieron que hacer para poder ayudarnos a convertirnos en profesionales.

Al Ing. Juan Carranza, por introducirnos en el mundo de la pitahaya, además de acompañarnos por esta travesía.

Al Dr. Carlos Miranda, por su excelente asesoría que se ve reflejada en la calidad del trabajo presentado. Gracias por su paciencia, disposición y por transmitirnos sus valiosos conocimientos y entusiasmo.

Al Lic. Miguel Hernández, por su disposición y ayuda para la satisfactoria finalización de nuestra investigación. Gracias por siempre darnos ánimos.

Al Lic. David Servellón, por habernos apoyado tanto durante este proceso, por haber aportado a la calidad del trabajo presentado y por ayudarnos a llevar nuestra investigación más allá de lo que nos habíamos imaginado.

A Lic. Agustín Albeño, por la ayuda que nos brindó siempre que la necesitamos y por resolver con paciencia cualquiera de nuestras dudas durante el proceso de investigación.

Al Ing. Luis Ibarra, por siempre apoyarnos y animarnos en seguir en seguir formándonos en el área de la ciencia.

A todo el equipo del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas (CEICA) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, por su completa disposición y amabilidad hacia nosotras.

A la Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñónez" (ENA), por abrirnos las puertas de la institución y de CEICA, que fue fundamental para realizar nuestra investigación.

A la directora de ENA la Dr. Odette Varela por abrirnos las puertas de la institución.

A la subdirectora Katya Weil por brindarnos su ayuda.

A la Ing. Mirna Vargas coordinadora de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Agricultura e Investigación Agrícola, por brindarnos el apoyo y por ser guía en el proceso.

A los catedráticos de la Facultad de Agricultura e Investigación Agrícola, por los años de formación, por la paciencia y por estar a disposición de las dudas generadas en el trayecto de la carrera.

Al MSc Oscar Raúl Avilés Flores, jefe de departamento de química analítica de la facultad de química y farmacia de la Universidad de El Salvador, por permitir realizar los análisis de la investigación y por siempre estar a disposición.

Alma Lizeth Hernández Carrillo  
Karen Elizabeth Recinos Guerrero

## Agradecimientos

A mi abue Jorge Carrillo (De grata recordación), por ser mi guía, mi padre y abuelo, ese ser que siempre me ha apoyado y que ha sido un pilar fundamental en mi vida, el vacío que ha dejado su ausencia es inmenso, pero siempre estará en nuestra mente y corazón.

A mi mami Cecilia Carrillo, mujer maravillosa que siempre nos ha sacado adelante con tanta fuerza y empeño, agradezco todo el amor y apoyo brindado, por siempre guiarme en el buen camino, te amo inmensamente.

A mi hermana Gaby, por siempre pensar en mí, por ser mi amiga y apoyarme en la toma de decisiones, estar conmigo en las buenas y malas, te amo mucho.

A mis bebés Muñeca, Bruno y Bailey quienes han estado en esos momentos de tristeza y alegría acompañándome siempre, en esas caminatas largas, por ese amor incondicional, los amo muchísimo.

A mi familia en general por brindarme apoyo en los momentos que más he necesitado, por no dejarme sola.

A mis amigos en especial a Milton, Zavala, Clau y Mely por estar para mí en esos momentos de diversión y tristeza, por darme esos consejos que necesitaba.

A los papás de Karen, por verme como una hija más y por apoyarme en los momentos que he necesitado.

A Karen, por ser una gran compañera de trabajo, por siempre apoyarnos en esta gran travesía, nunca imaginamos llegar a tanto, pero lo logramos, mucho éxito en tu futuro.

Al ing. Juan Carranza que desde el día uno estuvo a nuestra disposición con un gran entusiasmo y alegría.

Al Dr. Carlos Miranda por su asesoría en esta investigación, el cual ha sido increíble y hemos aprendido mucho.

A David Servellón, por ser nuestro segundo asesor con ese gran entusiasmo y energía, por corregirnos y enseñarnos tanto.

A Agustín Albeño, quien nos ha explicado con cariño y solventado nuestras dudas, y apoyarnos en este proceso.

Al ing. Ibarra por abrirnos las puertas de CEICA, estoy eternamente agradecida por esta gran experiencia, sin el apoyo de usted como todo el equipo no se hubiera hecho posible la investigación, la amabilidad, el entusiasmo, el cariño por parte de cada uno es increíble, en verdad muchas gracias.

Al Lic. Miguel Hernández, por apoyarnos hasta el último momento.

Al ing. Roberto Santos por ser un catedrático de excelencia, magnífica persona y siempre estar a disposición con una sonrisa y mucha dedicación.

Alma Lizeth Hernández Carrillo.

A Dios, por darme la oportunidad de concluir una carrera profesional. Gracias por apoyarme siempre en todos mis proyectos, sé que estuviste conmigo en cada persona que pusiste en mi camino para superar cada reto. Gracias por darme sueños y la capacidad y oportunidades para cumplirlos, fue como darme alas para volar y llegar a dónde yo quisiera.

A mis papás, Mirna de Recinos y Johel Recinos, que son el tesoro más grande que Dios me dio, gracias por su apoyo incondicional en cada momento. Por ser mis maestros de vida, los que me brindaron las enseñanzas necesarias para convertirme en la persona que soy. Los quiero con todo mi corazón. Sepan que siempre los llevo en mi corazón a dónde sea que vaya. Que alegría poder decir que, ¡lo logramos!

A mi hermano, Cristian Recinos, por ser la persona que junto a mis papás siempre me alentó a seguir adelante en los momentos que me sentí derrotada y quería tirar la toalla. Gracias por siempre buscar la forma de animarme, fuiste clave para que culminara este camino. Te quiero mucho y quiero que sepas que siempre cuentas conmigo.

A mi compañera de investigación, Alma Carrillo, por todo su arduo trabajo, por la entrega y dedicación a nuestra investigación. Me alegra poder haber compartido esta experiencia contigo y solo me queda decir que te deseo éxitos en tus siguientes proyectos de vida.

A mis pichonzuelas, Bea, Lore, Andrea y Lau, por siempre darme ánimo y alegrarse por mis logros. Le doy gracias a Dios por su amistad y me alegra el corazón ver lo lejos que han llegado. Sigán brillando con esa bonita luz de vida que las caracteriza a cada una de ustedes, las quiero mucho y gracias por tantos años de amistad.

A la sonora dinamita, Ale, Dani, Mila, Majo, Nery, Fer, Gaby, Erick, Steph, Sara, Cristi y Herbert, por ser los que hicieron que mis días de universidad fueran mucho más fáciles y felices. Todo es más fácil cuando se tiene amigos como ustedes, su amistad es una de las riquezas más grandes que tengo en mi vida. Los quiero mucho y siempre los llevo en el corazón.

A Ale Díaz, mi amiguita, por ser mi compañera de materias durante gran parte de la carrera, fuiste mi apoyo cuando no conocía a nadie más en las clases que llevamos. Me divertí mucho cuando íbamos en excursiones, solo tengo recuerdos bonitos de tu amistad y creo que todos los que tuvimos la dicha de ser tus amigos podrán decir lo mismo. Siempre te recuerdo con alegría por tu calidez y brillo como persona. Gracias hasta el cielo amiguita.

A Diana Penado, por tu amistad tan bonita, tú me enseñaste lo que es el compañerismo incondicional, siempre sentí tu apoyo. Gracias por estar pendiente de mí y alegrarte por cada uno de mis avances. Sé que vas a ser una gran ingeniera, con una ética y dedicación enorme, porque sé que das lo mejor de ti en todo lo que haces. Ánimo Dianita, que ya queda poquito. Te quiero mucho y gracias por tu amistad invaluable.

A mis instructoras, María José López, Angie Valle y Marcela Walsh, por su ayuda que fue clave para superar los retos de cada materia en la que fueron instructoras. Espero que su vida esté siempre llena de éxitos y que sean muy felices.

A mis tutores, por su paciencia y entrega en su trabajo. Me ayudaron a darme cuenta que yo podía seguir adelante si confiaba en mis habilidades y fortalezas.

Al Ing. Juan Carranza, por abrirnos las puertas de la ENA y de CEICA, que fueron indispensables para poder desarrollar este proyecto. Gracias por siempre auxiliarnos con todo lo referente al cultivo de pitahaya y por estar pendiente de los avances de nuestra investigación.

Al Dr. Carlos Miranda, por su valiosa asesoría. Por todo su apoyo durante el desarrollo de esta investigación, que llegó más lejos de lo que habíamos proyectado en un principio gracias a sus aportes y su visión. Gracias por siempre contagiarnos de su entusiasmo por la ciencia y el aprendizaje continuo.

Al Lic. Miguel Ángel Hernández, por su guía en cada detalle de nuestro proyecto y por siempre estar pendiente del avance de la investigación. Gracias por el tiempo que le dedicó a nuestro trabajo y por sus aportes para mejorar la calidad del documento final.

Al Lic. David Servellón, por su asesoría y acompañamiento durante todo el proyecto. Por ser uno de los pilares fundamentales para que esta investigación fuera exitosa. Gracias por transmitirnos sus conocimientos desde el primer día que llegamos al laboratorio y por ayudarnos a expandir el alcance de nuestra investigación.

Al Lic. Agustín Albeño, por su disposición a ayudarnos siempre que necesitamos su ayuda y por compartirnos sus conocimientos con mucho entusiasmo y paciencia. Gracias por la amabilidad con la que nos recibió a CEICA.

Al Ing. Luis Ibarra, por abrirnos las puertas de CEICA y demostrar su entusiasmo e interés por nuestra investigación desde el primer día. Por siempre estar pendientes de nosotras y del desarrollo del proyecto. Gracias por su invaluable colaboración en cada paso de este camino lleno de aprendizaje.

A la Ing. Vilma Calderón, por su contribución técnica a nuestra investigación, la cual permitió enriquecer nuestros hallazgos y por darnos ánimo durante el progreso de la investigación.

A todo el equipo de CEICA, por recibirnos con entusiasmo y amabilidad. Por siempre auxiliarnos en cada momento que necesitamos de su guía y colaboración.

A la Dra. Odette Varela, por tener la visión junto a la Ing. Katya Weil, de expandir los horizontes de esta investigación con la ayuda de CEICA. Y por su invaluable apoyo para la realización de esta investigación.

A la Ing. Katty Weil, por su interés en que nuestro proyecto finalizará exitosamente. Y por su disposición a ayudarnos en todo momento para cumplir nuestros objetivos.

Al Ing. Enrique Córdova, decano de la Facultad de Agricultura e Investigación Agrícola, por el interés y acompañamiento al proyecto.

Al Ing. Carlos Vásquez, por su disposición para ayudarnos en el proceso administrativo de la investigación.

Al Lic. Óscar Avilés, por ayudarnos en los análisis de caracterización, necesarios para obtener los mejores resultados posibles.

Karen Elizabeth Recinos Guerrero.

## Índice de contenido

Agradecimientos .....	4
Glosario .....	18
Resumen .....	19
Introducción .....	20
Contenido. ....	22
Capítulo I. Planteamiento del problema.....	22
1.1 Formulación del problema.....	22
1.2 Preguntas y/o hipótesis de la investigación .....	24
1.3 Antecedentes .....	25
1.4 Justificación .....	27
1.5 Objetivos.....	28
1.6 Alcances .....	29
1.7 Delimitación .....	29
Capítulo II: Marco Referencial.....	30
2.1 Teorías relacionadas.....	30
2.1.1 Teoría de la luz. ....	30
2.1.2 Teoría tricromática de la visión de color. ....	32
2.2 Conceptualización referente a la temática.....	32
2.2.1 Aditivos .....	32
2.2.2 Colorantes.....	33
2.2.3 Colorantes naturales .....	34
2.2.4 Colorantes artificiales.....	34
2.2.5 Pitahaya.....	34
2.3 Variedades de pitahaya.....	35
2.3.1 Orejona .....	35
2.3.2 Cebra .....	36
2.3.3 Lisa .....	36
2.3.4 Rosa .....	37
2.4 Betalaínas .....	37
2.5 Técnicas utilizadas para la extracción de colorante.....	38
2.5.1 Ultrasonido.....	38
2.5.2 Filtración al vacío .....	39

2.5.3 Rotaevaporación.....	39
2.5.4 Liofilización.....	39
2.5.5 Centrifugación.....	39
2.6 Técnica para determinar la concentración de compuestos coloreados en una solución.....	40
2.6.1 Colorimetría.....	40
2.7 Técnicas de identificación cromatográficas.....	40
2.7.1 Cromatografía de capa fina.....	40
2.7.2 Cromatografía por columna.....	41
2.7.3 Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	41
2.8 Técnicas espectroscópicas cualitativas y cuantitativas de betalaínas.....	41
2.8.1 Espectrofotómetro UV-Vis.....	41
2.8.2 FTIR.....	42
2.9 Cuantificación de Betalaínas.....	42
Capítulo III: Metodología.....	43
3.1 Tipo de estudio.....	43
3.2 Variables con su definición conceptual.....	43
3.3 Población y muestra.....	43
3.4 Procedimiento y métodos de recolección de datos.....	44
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	45
3.6 Ensayos para determinación del método de extracción a utilizar.....	45
3.7 Obtención de extractos de remolacha.....	46
3.7.1 Extracción de colorante de remolacha mediante agitación y rota evaporador.....	48
3.7.2 Extracción de colorante de remolacha mediante ultrasonido y rotaevaporador.....	49
3.7.3 Extracción de colorante de remolacha mediante.....	50
3.8 Obtención de extractos de pitahaya.....	51
3.8.1 Extracción de colorante de pitahaya mediante agitación.....	52
3.8.2 Extracción de colorante de pitahaya aplicando filtración en tela tipo manta.....	54
3.8.3 Extracción de colorante de pitahaya mediante ultrasonido.....	54
3.8.4 Extracción de colorante de pitahaya mediante agitación y ultrasonido.....	55
3.9 Extracción de colorante de las cuatro variedades de pitahaya.....	54
3.9.1 Flujograma de proceso de extracción de colorante para las cuatro variedades.....	57
3.9.2 Proceso de extracción de los colorantes.....	58
3.9.3 Variedad Orejona.....	59
3.9.4 Variedad Cebra.....	60
3.9.5 Variedad Lisa.....	60
3.9.6 Variedad Rosa.....	61

3.10 Determinación de pH .....	62
3.11 Determinación de Grados Brix .....	62
3.12 Determinación de humedad y Sólidos totales.....	63
3.13 Prueba de estabilidad en pH ácido, neutro y básico.....	64
3.14 Análisis de la mezcla de componentes en colorantes de pitahaya con la técnica de cromatografía de capa fina (TLC).....	65
3.15 Separación de compuestos en colorante de pitahaya para su purificación mediante la técnica de cromatografía por columna. ....	68
3.16 Separación de sólidos del colorante puro de pitahaya mediante la técnica de centrifugación.....	69
3.17 Identificación de especies de betacianinas y betaxantinas mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA) .....	70
3.18 Eliminación del agua del colorante puro de pitahaya a través de secado en frío por medio del Liofilizador.....	71
3.18.1 Liofilización de colorante .....	71
3.18.2 Pulpa de pitahaya liofilizada.....	72
3.19 Cuantificación de betacianinas mediante espectrofotometría UV-VIS.....	73
3.20 Análisis de grupos funcionales mediante la técnica de espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) de los compuestos aislados mediante cromatografía en columna de la pulpa de la pitahaya.....	74
3.21 Aplicaciones en alimentos.....	75
3.21.1 Flujograma de helado de crema.....	77
3.21.2 Flujograma de yogur .....	78
3.21.3 Concentración de betacianinas adicionadas a la formulación de yogur.....	79
3.21.4 Análisis de pH .....	79
3.21.5 Colorimetría .....	80
3.21.6 Análisis sensorial.....	81
Capítulo IV: Resultados de la investigación.....	82
4.1 Resultados.....	82
4.1.1 Extracción de colorantes.....	82
4.1.2 Determinación de pH.....	82
4.1.3 Determinación de grados Brix .....	84
4.1.4 Determinación de humedad .....	86
4.1.5 Sólidos Totales.....	87
4.1.6 Cromatografía de capa fina.....	87
4.1.7 Cromatografía en columna.....	87
4.1.8 Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA) .....	88

4.1.9 Cuantificación de betacianinas mediante espectrofotometría UV-VIS. ....	89
4.1.10 Análisis de grupos funcionales mediante la técnica de espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) .....	95
4.1.11 Colorimetría. ....	99
4.1.12 Elaboración de helado con adición de colorante PLE25M.....	104
4.1.13 Elaboración de helado con adición de colorante PSCS2J.....	105
4.1.14 Elaboración de yogur con adición de colorante PSCS2J.....	105
4.1.15 Análisis sensorial. ....	107
4.2 Discusión.....	133
4.3 Conclusiones. ....	136
4.4 Recomendaciones. ....	137
4.5 Referencias bibliográficas .....	138
4.6 Anexos .....	144

### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Espectro electromagnético.....	30
<b>Figura 2.</b> Percepción del color.....	31
<b>Figura 3.</b> Pitahaya variedad Rosa.....	35
<b>Figura 4.</b> Tallo y pitahaya variedad Orejona.....	35
<b>Figura 5.</b> Tallo y pitahaya variedad Cebra.....	36
<b>Figura 6.</b> Tallo y pitahaya variedad Lisa.....	36
<b>Figura 7.</b> Tallo y pitahaya variedad Rosa.....	37
<b>Figura 8.</b> Composición química de las betalaínas.....	37
<b>Figura 9.</b> Técnica de cromatografía de columna.....	38
<b>Figura 10.</b> Variables con su definición conceptual.....	43
<b>Figura 11.</b> Puntaje de la escala hedónica.....	45
<b>Figura 12.</b> Códigos de las pruebas de extracción.....	46
<b>Figura 13.</b> Determinación de método de extracción.....	48
<b>Figura 14.</b> Determinación de método de extracción.....	49
<b>Figura 15.</b> Determinación de método de extracción.....	49
<b>Figura 16.</b> Determinación de método de extracción.....	50
<b>Figura 17.</b> Determinación de método de extracción.....	51
<b>Figura 18.</b> Determinación de método de extracción.....	52
<b>Figura 19.</b> Determinación de método de extracción.....	53
<b>Figura 20.</b> Determinación de método de extracción.....	53
<b>Figura 21.</b> Determinación de método de extracción.....	54
<b>Figura 22.</b> Determinación de método de extracción.....	54
<b>Figura 23.</b> Determinación de método de extracción.....	55
<b>Figura 24.</b> Flujograma de proceso.....	57
<b>Figura 25.</b> Extracción de colorante variedad Orejona.....	59
<b>Figura 26.</b> Extracción de colorante variedad Cebra.....	60

<b>Figura 27.</b> Extracción de colorante variedad Lisa.....	61
<b>Figura 28.</b> Extracción de colorante variedad Rosa.....	61
<b>Figura 29.</b> Medición de pH.....	62
<b>Figura 30.</b> Medición de grados brix.....	63
<b>Figura 31.</b> Análisis de pH.....	65
<b>Figura 32.</b> Análisis de componentes en cromatografía de capa fina.....	66
<b>Figura 33.</b> Flujograma de proceso.....	67
<b>Figura 34.</b> Purificación por cromatografía en columna.....	69
<b>Figura 35.</b> Proceso de Centrifugación.....	70
<b>Figura 36.</b> Preparación de muestras para inyección en HPLC.....	71
<b>Figura 37.</b> Liofilización de pulpa de pitahaya.....	72
<b>Figura 38.</b> Pulpa liofilizada.....	73
<b>Figura 39.</b> Preparación de muestras para cuantificación de betalaínas en UV-VIS.....	74
<b>Figura 40.</b> Preparación de muestras para análisis FTIR.....	75
<b>Figura 41.</b> Flujograma de helado.....	77
<b>Figura 42.</b> Flujograma de yogur.....	78
<b>Figura 43.</b> Medición de pH.....	80
<b>Figura 44.</b> Técnica de colorimetría.....	81
<b>Figura 45.</b> Análisi sensorial.....	81
<b>Figura 46.</b> Valor de pH para variedad orejona.....	82
<b>Figura 47.</b> Valor de pH para variedad cebra.....	83
<b>Figura 48.</b> Valor de pH para variedad lisa.....	83
<b>Figura 49.</b> Valor de pH para variedad rosa.....	84
<b>Figura 50.</b> Valor de °Brix para variedad orejona.....	84
<b>Figura 51.</b> Valor de °Brix para variedad cebra.....	85
<b>Figura 52.</b> Valor de °Brix para variedad lisa.....	85
<b>Figura 53.</b> Valor de °Brix para variedad rosa.....	86
<b>Figura 54.</b> Espectros variedad Orejona.....	88
<b>Figura 55.</b> Espectro 3D. ....	89
<b>Figura 56.</b> Espectro variedad Cebra.....	89
<b>Figura 57.</b> Espectro 3D.....	90
<b>Figura 58.</b> Espectro variedad Lisa.....	90
<b>Figura 59.</b> Espectro 3D.....	91
<b>Figura 60.</b> Espectro variedad Rosa.....	91
<b>Figura 61.</b> Espectro 3D.....	92
<b>Figura 62.</b> Espectro de absorción UV-VIS variedad Orejona.....	95
<b>Figura 63.</b> Espectro de absorción UV-VIS variedad Cebra.....	96
<b>Figura 64.</b> Espectro de absorción UV-VIS variedad Lisa.....	97
<b>Figura 65.</b> Espectro de absorción UV-VIS variedad Rosa.....	98
<b>Figura 66.</b> Cuadro interpretativo de las señales de onda de los espectros.....	99
<b>Figura 67.</b> Nix Pro Color variedad Orejona.....	100
<b>Figura 68.</b> Nix Pro Color variedad Cebra.....	100
<b>Figura 69.</b> Nix Pro Color variedad Lisa.....	101
<b>Figura 70.</b> Nix Pro Color variedad Rosa.....	102
<b>Figura 71.</b> Gráfica de color CIELAB.....	103
<b>Figura 72.</b> Nix Pro Color Helado.....	104
<b>Figura 73.</b> Nix Pro Color Helado.....	105

<b>Figura 74.</b> Nix Pro Color Yogur.....	106
<b>Figura 74.</b> Nix Pro Color Yogur.....	106

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Resumen de extracciones preliminares.....	56
<b>Tabla 2.</b> Peso de pulpa húmeda.....	64
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de colorante extraído.....	82
<b>Tabla 4.</b> Humedad de las diferentes réplicas de las variedades de pitahaya.....	86
<b>Tabla 5.</b> Sólidos totales.....	87
<b>Tabla 6.</b> Valores para cuantificación.....	93
<b>Tabla 7.</b> Desviación estándar.....	94
<b>Tabla 8.</b> Desviación estándar porcentual.....	94
<b>Tabla 9.</b> Colorimetría variedad Orejona.....	99
<b>Tabla 10.</b> Colorimetría variedad Cebra.....	100
<b>Tabla 11.</b> Colorimetría variedad Lisa.....	101
<b>Tabla 12.</b> Colorimetría variedad Rosa.....	101
<b>Tabla 13.</b> Colorimetría de Helado.....	104
<b>Tabla 14.</b> Colorimetría de Helado.....	105
<b>Tabla 15.</b> Colorimetría de Yogur.....	106
<b>Tabla 16.</b> Datos estadísticos categorizados como válidos por el software.....	107
<b>Tabla 17.</b> Datos estadísticos categorizados como válidos por el software.....	107
<b>Tabla 18.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación de sexo.....	108
<b>Tabla 19.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación de edad.....	109
<b>Tabla 20.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista fuma o no.....	110
<b>Tabla 21.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista consume alcohol o no.....	110
<b>Tabla 22.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista consume o no café.....	112
<b>Tabla 23.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra A.....	112
<b>Tabla 24.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra A.....	114
<b>Tabla 25.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra A.....	115
<b>Tabla 26.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra A.....	116
<b>Tabla 27.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra A.....	118

<b>Tabla 28.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra B.....	119
<b>Tabla 29.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra B.....	120
<b>Tabla 30.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra B.....	122
<b>Tabla 31.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra B.....	123
<b>Tabla 32.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra B.....	124
<b>Tabla 33.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra A.....	126
<b>Tabla 34.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra B.....	127
<b>Tabla 35.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra B.....	128
<b>Tabla 36.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra B.....	130
<b>Tabla 37.</b> Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra B.....	131

### Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Representación gráfica del porcentaje de participantes según sexo.....	108
<b>Gráfico 2.</b> Representación gráfica del porcentaje de participantes según su edad..	109
<b>Gráfico 3.</b> Representación gráfica del porcentaje de participantes que consumen o no alcohol.....	110
<b>Gráfico 4.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su apariencia.....	113
<b>Gráfico 5.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su color.....	114
<b>Gráfico 6.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su olor.....	116
<b>Gráfico 7.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su textura.....	117
<b>Gráfico 8.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su sabor.....	118

<b>Gráfico 9.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su apariencia.....	120
<b>Gráfico 10.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su color.....	121
<b>Gráfico 11.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su olor.....	122
<b>Gráfico 12.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su textura.....	124
<b>Gráfico 13.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su sabor.....	125
<b>Gráfico 14.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su apariencia.....	126
<b>Gráfico 15.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su color.....	128
<b>Gráfico 16.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su olor.....	129
<b>Gráfico 17.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su textura.....	130
<b>Gráfico 18.</b> Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su sabor.....	132

## Glosario

**Aditivo alimentario:** son sustancias que se añaden a los alimentos para ya sea potenciar sus características organolépticas o para incrementar su periodo de vida útil.

**Pigmento vegetal:** son sustancias que pueden extraerse de materiales vegetales para su uso en diferentes industrias, entre ellas la industria alimentaria.

**Colorante:** sustancia hidrosoluble que tienen la capacidad de conferir color.

**Cromatograma:** diagrama mediante el cual se representa los resultados de la separación de una mezcla mediante técnicas cromatográficas.

**Longitud de onda:** distancia entre dos crestas provenientes de ondas diferentes y consecutivas.

**Espectro electromagnético:** se refiere a un grupo de longitudes de onda.

**Cromatografía:** es una técnica utilizada para la separación de los componentes de una mezcla.

**Grupos cromóforos:** grupo funcional responsable del color.

**Auxocromo:** es un grupo de átomos con carga positiva que intensifican la acción del grupo cromóforo dentro de la molécula de la sustancia.

## Resumen

Se determinó un procedimiento de extracción de colorantes naturales (betalaínas) en cuatro variedades de pitahaya (*Hylocereus spp.*), orejona, cebra, lisa y rosa; aplicando técnicas cromatográficas y espectrofotométricas de caracterización y cuantificación, con el fin de obtener pigmentos para utilizarse en diversos productos alimenticios.

El proceso de extracción para la obtención del colorante se realizó aplicando una primera filtración utilizando tamiz tipo manta, seguido de sonicación por 30 minutos a menos de 30°C, agitación por una hora y una última filtración con el tamiz tipo manta. Los extractos obtenidos se sometieron a ultracongelación para posteriormente ser liofilizados y obtener el producto en polvo.

La cuantificación de las betalaínas (betacianinas) se realizó mediante espectrofotometría UV-VIS como método aproximado, a una longitud de onda de 536 nm. Los resultados para la cuantificación de betacianinas fueron las siguientes: orejona (3.32 mg/g), cebra (2.92 mg/g), lisa (3.88 mg/g) y rosa (6.02 mg/g), siendo la rosa la variedad que presentó un mayor contenido de betacianinas.

Se realizaron análisis complementarios de caracterización utilizando las técnicas de cromatografía de capa fina, con la cual se observó la presencia de betacianinas en el colorante de la pulpa de pitahaya, mientras que en el colorante de fruta entera se observaron betacianinas y betaxantinas. Por otra parte, la técnica de HPLC se utilizó para separar y purificar los compuestos del colorante. La espectrofotometría FTIR permitió la identificación de los enlaces del grupo funcional nitrógeno doblemente enlazado, característico de las betalaínas.

Además, se aplicaron análisis de colorimetría en yogur y helado de crema que fueron elaborados con el colorante de pitahaya obtenido. Se realizó un análisis sensorial para determinar la aceptación del colorante aplicado en alimentos.

Todos los análisis a excepción de los análisis de FTIR se realizaron en las instalaciones del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. Y los de FTIR se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

**Palabras clave:** betacianinas, colorante natural, separación por HPLC, cromatografía, espectrofotometría UV-VIS.

## Introducción

La pitahaya (*Hylocereus spp.*) es una fruta exótica que no es muy reconocida en El Salvador, esta contiene muchos elementos importantes que son beneficiosos para el cuerpo humano, como la tiamina, el ácido ascórbico, fibra, vitamina C, Hierro, Fósforo y Calcio (Cervantes-Sánchez y otros, 2017).

Según Verona-Ruiz, Urcia-Cerna y Paucar-Menacho (2020), a nivel mundial la pitahaya es conocida por su apariencia y contenido de nutrientes. Asimismo, remarcan que existen diferentes variedades: las pitahayas amarillas de cáscara amarilla y pulpa blanca, las rojas que tiene cáscara roja y pulpa blanca, y la roja de cáscara roja con pulpa roja-púrpura.

Al ser una fruta visualmente llamativa, da la pauta para realizar diferentes tipos de análisis. Específicamente ha sido objeto de estudios enfocados en la obtención de su colorante para analizar su potencial uso en diversas industrias como la industria alimentaria, la industria cosmética o la industria textil (ver apartado 1.3).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021), dio a conocer que en la Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñónez" (ENA) se encuentran 25 especies de esta fruta, de las cuales cuentan con cuatro variedades totalmente desarrolladas: orejona, cebra, lisa y rosa. Dichas variedades son comercializadas en las instalaciones de la escuela. Además, se han realizado diferentes productos derivados de ellas, como, por ejemplo: helados, jaleas, picantes, refrescos, mermeladas, dulces, postres, entre otros.

Una de las características más sobresalientes de las variedades mencionadas es el color. Dicho color se debe a la presencia de pigmentos conocidos como betalaínas, los cuales se desglosan en betacianinas y betaxantinas (González-Ortiz y Guerrero-Beltrán, 2018).

Uno de los objetivos esenciales de esta investigación fue cuantificar las betalaínas extraídas de la pulpa de pitahaya, utilizando la técnica de espectrometría UV/VIS. Dicha técnica permitió obtener datos aproximados del contenido de betalaínas (betacianinas) de cada variedad, utilizando una longitud de onda de 536 nm. Los resultados para la cuantificación de betacianinas fueron las siguientes: orejona (3.32 mg/g), cebra (2.92 mg/g), lisa (3.88 mg/g) y rosa (6.02 mg/g), siendo la rosa la variedad que presentó un mayor contenido de betacianinas.

Adicionalmente, se realizaron análisis cualitativos para identificar si la fruta contiene betalaínas dentro de su composición, utilizando diversas técnicas. Entre ellas, la cromatografía de capa fina, dónde se observó la presencia de betacianinas en la pulpa de la pitahaya; mientras que en el colorante de fruta entera se observaron betacianinas y betaxantinas. La técnica de HPLC se aplicó para separar y purificar los compuestos del

colorante. La espectrofotometría FTIR permitió la identificación de los enlaces del grupo funcional nitrógeno doblemente enlazado, el cual es característico de las betalaínas.

El colorante se obtuvo en presentación en polvo, para su posterior reconstitución y uso en alimentos. Fue aplicado en dos helados de crema y un yogur. Estos productos fueron sometidos a análisis de colorimetría y análisis sensorial. Los datos recopilados durante el análisis sensorial fueron procesados aplicando un análisis de frecuencias con el Software estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

Con el apoyo del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas (CEICA) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, se realizaron análisis de caracterización y cuantificación de las betalaínas presentes en las variedades de estudio. Estos análisis se efectuaron para poder profundizar en la investigación de forma cualitativa y cuantitativa. Así como también, se contó con el apoyo de la ENA para la obtención de las cuatro variedades evaluadas y con la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para la aplicación de análisis complementarios de caracterización.

## Contenido

### Capítulo I. Planteamiento del problema

#### 1.1 Formulación del problema.

García (2021) afirma que la industria de alimentos está transformándose constantemente, evolucionando según los cambios de disponibilidad y tratamiento de materias primas. De igual forma, surgen nuevas técnicas que se van desarrollando para aumentar la calidad del producto y la eficacia de los procesos. También menciona que este sector se rige bajo estrictas normas de seguridad y trazabilidad, además de apearse a nuevas tendencias de alimentación que van surgiendo a medida que los consumidores se informan más sobre los alimentos que consumen.

El uso de aditivos alimentarios es una práctica de la industria que se ha adaptado con el paso del tiempo para responder innovadoramente la demanda de producción y consumo. La Organización Mundial de la Salud (2018, párr. 1) define que el propósito de la implementación de aditivos en los alimentos es mantener o mejorar su inocuidad, frescura, sabor, textura o apariencia.

Los colorantes alimentarios son aditivos que precisamente son empleados para restablecer o aumentar la buena imagen de algunos alimentos. Existen diversas razones específicas que justifican el uso de colorantes y Marcano (2018, p.177) explica con relación a esto, lo siguiente: El mayor uso de los colorantes es en aquellos productos con poco color o incoloros: gelatinas, refrescos, licores, caramelos, etc. En este caso la respuesta psicológica es muy grande: una gelatina roja sabrá más a fresa que una amarilla o una verde, aunque contenga la misma proporción de esencia de fresa.

Desde hace años el mercado alimentario ha presentado un alza en la demanda de productos naturales, que dentro de su composición no contengan compuestos químicos que puedan perjudicar la salud del consumidor (Carnicero, 2016). Esto ha inspirado el desarrollo de investigaciones cuyo principal objeto de estudio han sido los aditivos alimentarios, entre ellos los colorantes, que han obtenido una mala imagen ante el público, ya que se les relaciona con toxicidad y efectos secundarios en la salud (Velázquez-Sámamo y otros, 2019).

Esto también ha incentivado la investigación de diversos métodos de obtención de colorantes naturales y sustitución de los colorantes sintéticos (Restrepo, 2007, pp. 35-39).

Aunque el uso de aditivos, ya sean artificiales o naturales, está regulado a nivel internacional para evitar que la ingesta de alimentos que los contengan cause daños a la salud, en los últimos años se ha tenido una mayor preferencia por los de origen natural, en especial en el sector de los colorantes (FARBE NATURALS, 2016). Es importante mencionar que los colorantes naturales fueron los primeros en ser utilizados; por ejemplo, Mateos-Aparicio (2017, p.110) relata que, hasta la mitad del siglo pasado, los colorantes que estaban disponibles eran de origen natural (azafrán, añil, achote, cúrcuma, rojo remolacha...).

Sáenz (2019) relata que, aunque durante varios años los colorantes naturales se utilizaron para teñir prendas de vestir, fue en 1856 que esta práctica cambió debido al descubrimiento del químico Sir William Henry Perkin, quién creó el primer tinte sintético conocido como el malva. Sáenz aclara que dicho descubrimiento surgió cuando Perkin se encontraba intentando sintetizar quinina. Además, describe que a partir de este hallazgo los químicos comenzaron a sintetizar tintes que pudieran presentarse como alternativas a los tintes naturales, que fueran más económicos y que brindaran una variedad de colores nuevos.

Las exigencias de los consumidores en cuanto a una alimentación más natural han logrado que la industria se enfoque en innovar en materia de colorantes, buscando opciones que se apeguen a las necesidades de bajos costos, rendimientos, eficiencia y calidad de la industria, así como también logren cumplir con las expectativas de los consumidores.

Distintas investigaciones se han realizado con el objetivo de encontrar nuevos colorantes naturales o profundizar en los atributos de aquellos que han sido extraídos de fuentes ya estudiadas, pero de las cuales aún no se ha logrado explotar su potencial. La pitahaya es una de estas fuentes, ya que se ha investigado sobre los procesos de extracción de su colorante y existe un interés por la comunidad científica en analizar más a fondo su potencial para ser utilizada en el rubro de los colorantes alimentarios.

## 1.2 Preguntas y/o hipótesis de la investigación

- 1) ¿Cómo se puede extraer el colorante de las cuatro variedades de pitahaya (orejona, cebrá, lisa o rosa)?
- 2) ¿Cuál de las cuatro variedades estudiadas, tiene un mayor contenido de betalaínas?
- 3) ¿Cuál es el procedimiento de preparación de la pitahaya para la obtención de sus betalaínas?
- 4) ¿Cuál es el mejor método para extraer las betalaínas de las 4 variedades a estudiar?

H1: Una de las cuatro variedades (orejona, cebrá, lisa o rosa) tiene un contenido superior de betalaínas en comparación con el resto.

H0: Una de las cuatro variedades (orejona, cebrá, lisa o rosa) no tiene un contenido superior de betalaínas en comparación con el resto.

H2: Es posible aplicar un solo método de extracción de betalaínas en las variedades de pitahaya estudiadas.

H0: No es posible aplicar un solo método de extracción de betalaínas en las variedades de pitahaya estudiadas.

### 1.3 Antecedentes

El campo de los colorantes naturales está generando gran interés dentro de la comunidad científica. Cada vez surgen más investigaciones que se centran en la obtención y utilización de esta clase de colorantes, llegando a estudiar una gran variedad de fuentes ya utilizadas en diversas industrias para profundizar en el conocimiento que se tiene de estas o enfocándose en el estudio de nuevas fuentes que han sido poco investigadas

Garzón (2008) expone que existe una creciente preocupación en torno a la toxicidad de los colorantes sintéticos, lo que ha impulsado diversos estudios que han concluido en la prohibición de varios tipos de colorantes como el No. 2 y No. 40 en países como Austria, Japón, Noruega y Suecia. Muchos otros colorantes aún están siendo estudiados. Esto ha causado una baja en la demanda de colorantes artificiales y un aumento en la demanda de aquellos de origen natural.

Entre las numerosas fuentes que han sido motivo de estudio en el campo de colorantes naturales, se encuentra la pitahaya, la cual es una fruta poco conocida, pero que ya ha generado investigaciones en torno a su utilización en la industria de colorantes, indagando en el análisis de su contenido de betalaínas. Flores, Rentería, Vega y Chávez (2019, pp. 318-325) describen a las betalaínas como pigmentos nitrogenados solubles en agua, derivados del ácido betalámico: betacianinas (aportan el rojo-violeta) y betaxantinas (aportan el color amarillo-naranja).

Ya que existen diversas variedades de pitahayas, es importante mencionar lo que resaltan Gonzáles-Ortiz y Guerrero-Beltrán (2018) sobre estos pigmentos con relación a la variedad, indicando que debido a que las betalaínas son las responsables de dar color rojo (betaninas) y amarillo (betaxantinas), las pitahayas rojas van a poseer una mayor capacidad antioxidante sobre aquellas que son de color rosa y color blanco, siendo las de color blanco las que contienen menor contenido de betalaínas.

Un dato muy importante a tener en cuenta en los estudios sobre colorantes naturales, son las cantidades que pueden obtenerse de sus fuentes. Gonzáles-Ortiz y Guerrero-Beltrán (2018) reportan que: la cáscara de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) tiene un contenido de betacianinas de 515.20  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  y 491.16  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ , extraídas con metanol y agua, respectivamente.

En las investigaciones sobre colorantes, un factor importante a evaluar es el método de extracción que se emplearán para la obtención de los pigmentos, que según sea la

naturaleza de su fuente, podrán aplicarse diversos métodos que sean adecuados para así poder obtener el máximo rendimiento del producto. Según Restrepo Gallego (2007, pp. 35-39) los métodos más empleados son la cromatografía y la espectrofotometría. Diferentes estudios (sobre extracción de colorantes) han empleado métodos como la cromatografía en columna de alta eficacia (HPLC), cromatografía gaseosa acoplada a masas y espectrofotometría UV y visible.

#### 1.4 Justificación

Los colorantes comerciales son aditivos alimentarios que se encargan de dar color a los productos y en la industria son muy importantes ya que gracias a ellos el producto se ve más llamativo y por ende para el consumidor es más atractivo y lo consume más.

Los colorantes son muy utilizados en la repostería, panadería, industria de bebidas, además de utilizarse en otras industrias como la textil, cosmética y farmacéutica.

A pesar de que la aplicación de estos colorantes es beneficiosa, algunos de ellos han provocado ciertos efectos secundarios a muchas personas, y alguna de ellas son alérgicas a estos, es por esto, que los colorantes naturales están teniendo mayor realce en la actualidad; en vista que la sociedad está cambiando su perspectiva y su enfoque en algo más natural, ecológico, orgánico, y sustentable.

En consideración a este cambio de enfoque, en la sociedad se aspira perfeccionar la calidad de los alimentos que se ingieren diaria y ocasionalmente y que llevan añadidos colorantes alimentarios.

La pitahaya conocida también como fruta de dragón, es una fruta exótica, en el país son cultivadas en la Escuela Nacional de Agricultura [ENA], cuentan con 25 especies de las cuales, cuatro variedades están desarrolladas totalmente: la rosa, la orejona, la cebrá y la lisa (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

Esta fruta contiene betalaínas, las cuales son encargadas del color natural contenida en éstas; por este motivo se pretende identificar cuál de las cuatro variedades tiene en mayor contenido para utilizarlo como colorante natural en los productos alimenticios.

## 1.5 Objetivos

### Objetivo general:

Determinar un procedimiento de extracción de colorantes naturales (betalaínas) en cuatro variedades de pitahaya (orejona, cebrá, lisa y rosa) aplicando técnicas cromatográficas y espectrofotométricas de caracterización y cuantificación, con el fin de obtener colorantes para su utilización en diversos productos alimenticios.

### Objetivos específicos:

- Efectuar la extracción del colorante de cuatro variedades de pitahaya para su posterior cuantificación.
- Cuantificar las betalaínas extraídas de la pulpa de pitahaya, utilizando la técnica de espectrometría UV/VIS.
- Comparar el resultado de la cuantificación de las 4 variedades de pitahaya para identificar la variedad que posee el mayor contenido de betalaínas.
- Identificar el número de especies de betacianinas y betaxantinas que se encuentran en la pulpa de pitahaya, mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA) y Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR).
- Describir de forma documental el procedimiento de preparación de las muestras de pitahaya que son sometidas a la extracción de betalaínas.
- Inferir cuál es el mejor método para realizar la extracción del colorante de las 4 variedades de acuerdo con los resultados experimentales.
- Aplicar los pigmentos extraídos en prototipos de productos lácteos.
- Determinar mediante un análisis sensorial la aceptación del colorante obtenido de pitahaya aplicado en productos lácteos, enfocándose en el color que aporta a dichos alimentos.

## 1.6 Alcances

Los tipos de alcance que se utilizaron en la investigación fueron de tipo exploratorio, descriptivo y experimental.

El tipo exploratorio se usó debido a que el tema no se ha estudiado a profundidad y se indagó desde un nuevo criterio; por otro lado, se aplicó el tipo descriptivo porque era necesario actualizar la fuente de información, y el tipo experimental ya que se emplearon análisis de laboratorio para poder identificar características, atributos y cualidades de las variedades de la materia prima.

Se pretendió evaluar la cantidad de betalaínas que se podían obtener de cada una de las variedades de pitahaya que se estudiaron (la rosa, la orejona, la cebrá y la lisa), y con relación a estos valores se identificó cuál era la mejor variedad para utilizarla como fuente de colorante natural alimentario.

## 1.7 Delimitación

La investigación se enfocó en la extracción y cuantificación de betalaínas en 4 variedades de pitahaya para colorante alimentario, dicha investigación se ejecutó en la Universidad Dr. José Matías Delgado ubicada en Antiguo Cuscatlán, además se realizaron visitas de campo a la ENA ubicada en Ciudad Arce, La Libertad, en el periodo del mes de Enero a Junio del año 2022.

Así mismo, el proceso de extracción del colorante de las variedades de pitahaya estudiadas, el proceso de cuantificación de sus betalaínas y los estudios de caracterización se realizaron en los laboratorios del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas (CEICA) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología con asistencia técnica de especialistas de dicha institución. Además de contar con el apoyo de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador y sus especialistas, en análisis de caracterización complementarios para la investigación.

## Capítulo II: Marco Referencial

### 2.1 Teorías relacionadas

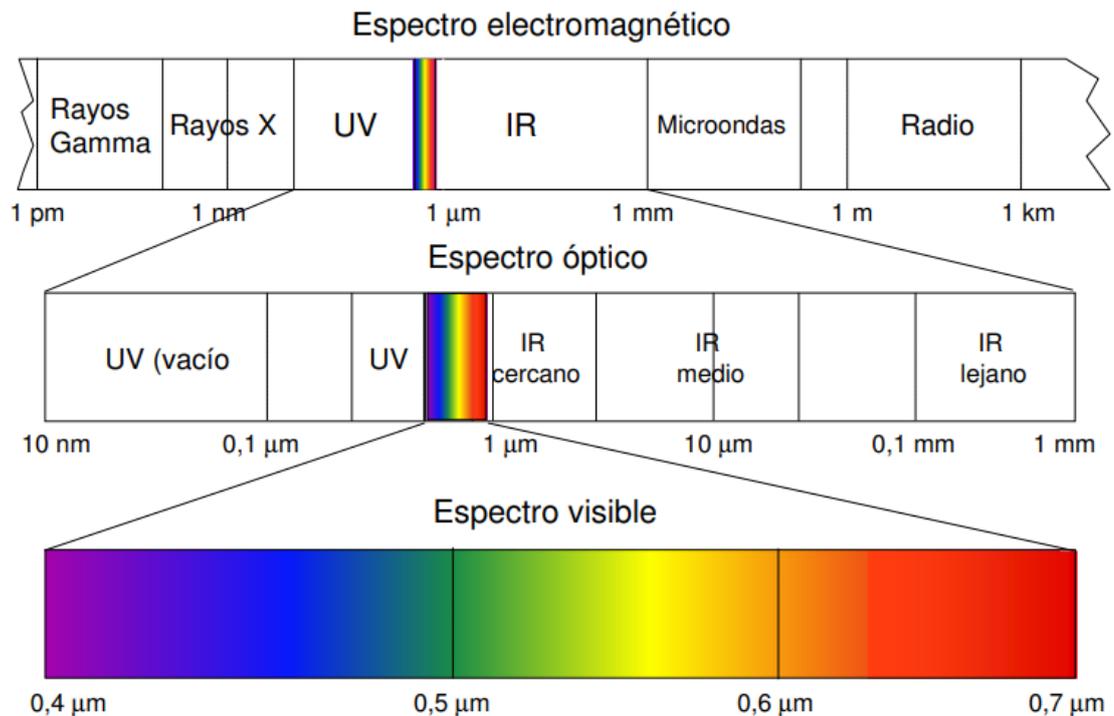
#### 2.1.1 Teoría de la luz.

La luz o energía radiante es una forma de radiación electromagnética que tiene la capacidad de excitar la retina del ojo humano y así producir una sensación visual. Esta energía fluye en forma de ondas electromagnéticas y es percibida cuando estas interactúan con la materia y permiten ser absorbidas (Moreno, 2009, p. 8).

Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas, dentro del espectro podemos encontrar rayos X, rayos gamma, rayos ultravioleta, radiación infrarroja, ondas microondas, luz visible (Scientific Committees, sin fecha).

**Figura 1.** Espectro Electromagnético.



*Nota.* La figura muestra el espectro visible por el ojo humano. Fuente: Universidad de Alicante, 2012.

Espectro visible.

También conocido como luz visible, es una parte del espectro electromagnético que es visible por el ojo humano, comprende desde los 400 nm hasta los 700 nm. Cada parte visible del espectro electromagnético produce una sensación de color diferente, absorbe en cierta longitud de onda la cual representa un color, pero proyecta otro color esto debido a la sumatoria de compuestos presentes en las transiciones electrónicas que provoca el desplazamiento de ciertos nanómetros en el espectro (Fontal, 2005, pp. 67-70).

**Figura 2.** Percepción del color.

<b>Nm</b>	<b>ABSORBE EN EL</b>	<b>REFLEJA EN</b>
<b>400-435</b>	Violeta	Amarillo-Verde
<b>480</b>	Azul	Amarillo
<b>490</b>	Azul-Verde	Naranja
<b>500</b>	Verde-Azul	Rojo
<b>560</b>	Verde	Purpura
<b>580</b>	Verde Amarillo	Violeta
<b>595</b>	Amarillo	Azul
<b>605</b>	Naranja	Azul-Verde
<b>650</b>	Rojo	Verde-Azul
<b>750</b>	Púrpura	Verde

Nota. La figura muestra los colores que absorben y reflejan a cierta longitud de onda. Fuente: Marcano, 2018.

### 2.1.2 Teoría tricromática de la visión de color.

El físico Thomas Young demostró que la luz estaba compuesta de ondas y poco tiempo después que estas ondas tienen diferentes longitudes, las cuales calculó su longitud.

En 1802 Young postuló la teoría del receptor tricromático, la palabra tricromática se deriva en tri que significa tres y cromática que significa de los colores, dicha teoría se refiere a que el ojo humano tiene tres tipos de receptores, él plantea que dependiendo la longitud de onda que percibe el ojo su actividad nerviosa interpreta la experiencia del color.

En 1856 el científico alemán Helmholtz completó la teoría de Young con una curva espectral de la sensibilidad de los receptores, diseñó receptores sensibles a las longitudes de onda correspondientes al azul, rojo y verde (Prado, Camas y Laredo, 2008).

## 2.2 Conceptualización referente a la temática

### 2.2.1 Aditivos

Según el Codex Alimentarius (FAO y OMS, 1995, p. 3) se le conoce como aditivo a cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye contaminantes o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales.

Los aditivos son muy importantes y utilizados en la industria alimentaria y se clasifican según su función tecnológica en: aromatizantes, antioxidantes, antiaglomerantes, acidulantes, conservantes, colorantes, estabilizantes, emulsionantes, espesantes, edulcorantes y saborizantes.

Los aditivos alimentarios al ser componentes de los alimentos deben reflejarse en las etiquetas de aquellos productos que los contengan. Con el propósito de simplificar y estandarizar internacionalmente el sistema de clasificación de los aditivos, surgió El Sistema Internacional de Numeración de Aditivos Alimentarios (SIN).

Biotecnologías Aplicadas S.I. (2019, párr. 8) expone que el Sistema Internacional de Numeración de Aditivos Alimentarios (SIN) ha sido elaborado por el Comité del Codex sobre

Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos (CCFAC) para establecer un sistema numérico internacional acordado de identificación de los aditivos alimentarios en las listas de ingredientes, esto como alternativa a la declaración del nombre específico, que en ocasiones puede ser muy largo y puede poseer una naturaleza química compleja. A este sistema también se le conoce como el sistema de clasificación de números E.

### 2.2.2 Colorantes

Un colorante se define como un pigmento o sustancia manufacturada o extraída a partir de vegetales, animales o minerales, el cual se emplea en la coloración de alimentos, productos farmacéuticos, cosméticos o alguna parte del cuerpo humano (Parra, 2004).

En la industria alimentaria, los colorantes se utilizan como aditivos que cumplen la función de brindar o devolver el color a un alimento y su relevancia recae en el hecho de que aportan un atractivo visual al alimento. Según Corrales y Caycedo (2020, p. 75), estos se pueden clasificar según su procedencia en naturales o artificiales. Los naturales provienen de plantas o animales y los artificiales de minerales.

En cuanto a su estructura química, Artigas, Capilla y Pujol (2002, p. 15) indican que los colorantes están constituidos por un grupo funcional cromóforo y un auxócromo.

Corrales y Caycedo (2020, párr. 3) explican que, dentro de la estructura de un colorante, los cromóforos son un grupo funcional de alta densidad electrónica y por lo tanto se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Dobles y triples enlaces carbono-carbono
- Anillos aromáticos
- Grupos carbonilos, imino, diazo y nitro
- Estructuras que presentan enlaces entre el carbono y átomos con pares de electrones libres.

Por otro lado, Corrales y Caycedo (2020, párr. 4) también describen a los auxocromos como sustituyentes del cromóforo, que alteran los valores de las longitudes de onda en las que se presentan las absorciones de la luz. Generalmente, los auxocromos son grupos mucho más sencillos que los cromóforos, como es el caso de grupos metilo (-CH<sub>3</sub>), halógenos (-X), hidroxilos (-OH), y amino (-NH<sub>2</sub>).

### 2.2.3 Colorantes naturales

Los colorantes naturales se pueden obtener de diversas fuentes como las frutas, verduras y/o plantas. En la naturaleza encontramos diferentes alimentos con diferentes colores entre ellos amarillos, rojos, azules, verdes entre otros, cada uno de ellos con diferentes colores, estos colores son diferentes debido a la composición química de ellos.

Lastimosamente los colorantes naturales son sensibles al calor, un claro ejemplo es el color verde de algunas verduras, legumbres y hojas en su composición química se encuentra la clorofila, al estar en contacto con el calor su color verde se torna a color marrón, es por ello por lo que los colorantes naturales no son usualmente ocupados por su inestabilidad ante algunos factores.

### 2.2.4 Colorantes artificiales

Los colorantes artificiales se adquieren mediante síntesis química, ya que carecen de un similar natural, por lo que son elaborados en laboratorios químicos. Estos tienen ventajas como las propiedades de disolución, alta gama de colores, costos bajos, resistentes a tratamientos térmicos entre otras razones, por las que la industria ha optado por su uso y se encuentran permitidos en algunos países (Sánchez, 2014, pp. 234-246).

### 2.2.5 Pitahaya

También es conocida como fruta del dragón, se puede encontrar en colores amarillos y rosadas. La pitahaya está compuesta de pulpa y cáscara, su pulpa es consistente y espumosa, presenta coloración blanca (variedad amarilla) y blanca rojiza (variedad roja), con pequeñas y suaves pepas comestibles, cubiertas de escamas rojas y amarillas según la especie (Santarrosa, 2013, p. 32).

La pitahaya (*Selenicereus secc. Hylocereus*) es familia de las cactáceas, las cuales son originarias de América tropical, estas plantas a pesar de ser plantas de desierto han ido evolucionando hasta el punto de adaptarse muy bien en zonas húmedas.

Dos características importantes de esta planta es que la mayoría de estas son epifitas y pueden fijar el CO<sub>2</sub> metabolismo CAM (Metabolismo ácido de crasuláceas), lo que implica que los estomas de las plantas permanezcan cerradas durante el día pero por las noches permanecen abiertas; esto ayuda a la conservación del agua a través de una menor evapotranspiración durante las horas más calurosas y secas del día, debido a que cuando

abren sus estomas fijan el CO<sub>2</sub> dentro de sus células en la noche y después por reacciones químicas y termodinámicas almacenan y convierten el dióxido de carbono para ser usado durante el día.

Este tipo de planta carece de hojas, pero gracias al proceso evolutivo la ausencia de ellas no ha perjudicado en nada a la planta, ya que los tallos asumieron la función fotosintética que ejercían las hojas (Almanza y otros, 2012).

**Figura 3.** Pitahaya variedad rosa.



Nota. La figura muestra la pitahaya recién cortada.

## 2.3 Variedades de pitahaya.

### 2.3.1 Orejona

De tallos delgados y alargados de color verde oscuro, el fruto tiene forma ovalada, su cascara es de color rojo púrpura rodeada de gran cantidad de brácteas, siendo más largas que las otras especies. Su peso ronda entre los 350 a 400 g (López y Guido, 2002, pp. 8-9).

**Figura 4.** Tallo y pitahaya variedad orejona.



Nota. Las figuras muestran los tallos de la planta y la fruta entera de pitahaya variedad orejona en corte transversal longitudinal.

### 2.3.2 Cebra

El tallo de esta variedad es grueso y de poca longitud, en la superficie del tallo tienen rayas blancas de aspecto ceniciento, el fruto es ovalado de color rojo intenso al madurar y cascara gruesa, su peso promedio es de 330 g (López y Guido, 2002, pp. 8-9).

**Figura 5.** Tallo y pitahaya variedad cebra.



Nota. Las figuras muestran los tallos de la planta y la fruta entera de pitahaya variedad cebra en corte transversal longitudinal.

### 2.3.3 Lisa

Planta de tallo largo y delgado color verde pálido, el fruto es ovalado, su cáscara es gruesa y de color rojo oscuro tiene pocas brácteas, pero son gruesas, su peso es entre 400 y 450 g (López y Guido, 2002, pp. 8-9).

**Figura 6.** Tallo y pitahaya variedad lisa.



Nota. Las figuras muestran los tallos de la planta y la fruta entera de pitahaya variedad lisa en corte transversal longitudinal.

### 2.3.4 Rosa

El tallo es verde claro, alargado y succulento, los frutos son redondos, la cáscara es entre rosa-rosada y es delgada, con brácteas separadas y cortas, el peso promedio es de 457 g (López y Guido, 2002, pp. 8-9).

**Figura 7.** Tallo y pitahaya variedad rosa.

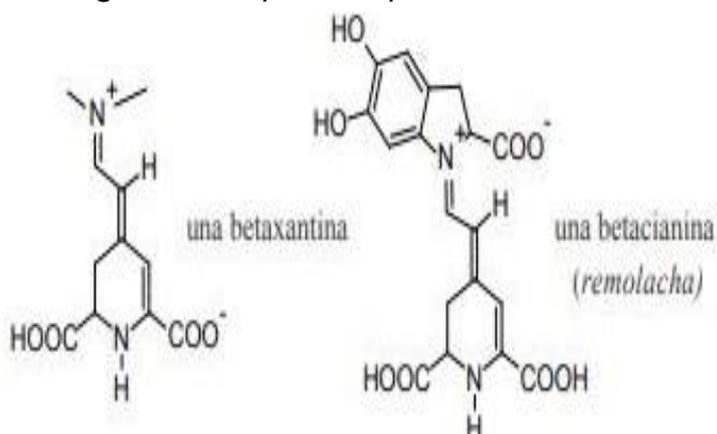


Nota. Las figuras muestran los tallos de la planta y la fruta entera de pitahaya variedad rosa en corte transversal longitudinal.

### 2.4 Betalaínas

Estos son compuestos nitrogenados e hidrosolubles, se dividen en betacianinas estas con encargadas de la coloración rojo-violeta y betaxantinas estas producen el color amarillo. Se pueden encontrar en frutos, hojas, flores y en las vacuolas de las células vegetales. (Badui, 2006, p. 431).

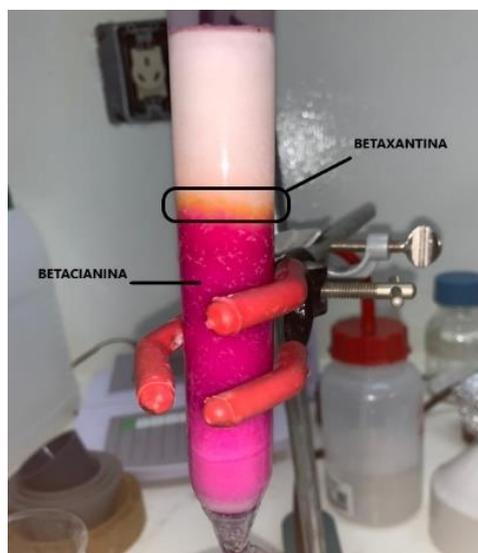
**Figura 8.** Composición química de las betalaínas.



Nota. La figura muestra la estructura química de Betacianina y Betaxantina.  
Fuente: Marcano, 2018.

Las betalaínas son compuestos hidrosolubles, las betaxantinas exhiben un máximo de absorción de luz de 480 nm y en las betacianinas el máximo de absorción de luz es aproximadamente a 540 nm. Este tipo de pigmento son estables en pH de 4-5, pero son inestables en diferentes factores como oxígeno, temperatura y luz (Fennema, 2000, p. 826-833).

**Figura 9.** Técnica de cromatografía de columna.



Nota. La figura muestra la separación de color amarillo (betaxantinas) y rojo (betacianinas) mediante cromatografía de columna.

## 2.5 Técnicas utilizadas para la extracción de colorante.

### 2.5.1 Ultrasonido

Es una técnica donde se utiliza energía en forma de onda de alta y baja intensidad. Tiene muchas aplicaciones tanto en la industria química, farmacéutica y también en la industria alimentaria. La primera aplicación del ultrasonido fue en 1917, este puede ser ultrasonido de señal donde el producto modifica la señal y brinda la información sobre el producto y de potencia estos pueden modificar un proceso o un producto (Azuola y Vargas-Aguilar, 2003, pp. 30-40).

La extracción asistida por ultrasonido se utiliza para desprender el compuesto que se requiere extraer de la muestra. En la extracción asistida por ultrasonido involucra dos fenómenos físicos, la primera es la difusión a través de la pared celular esto se da debido a

que la cavitación provoca una ruptura en la pared y la segunda es el lavado de los contenidos celulares una vez que las paredes están rotas. Algo a destacar del ultrasonido es que facilita la rehidratación del tejido de algún producto o material (Azuola y Vargas-Aguilar, 2003, pp. 30-40).

#### 2.5.2 Filtración al vacío

Es una técnica de separación sólido-líquido, la técnica consiste en colocar un Kitasato conectado a una válvula de presión, sobre el Kitasato se coloca el cono de hule, el embudo de Buchner con su filtro, después se coloca la muestra a filtrar, al ejercer vacío provoca una succión de la muestra.

#### 2.5.3 Rotaevaporación.

Es una técnica que se emplea para separar solventes de otros compuestos de interés. El equipo que se utiliza es un rotaevaporador, el cual se encarga de evaporar sustancias mediante el proceso de la destilación, para luego ser condensadas y posteriormente separar sus componentes uno a uno (Cromtek, sin fecha).

La estructura básica de un rotavapor se compone de una unidad de movimiento de rotación y elevación, un equipo de destilación, que puede ser de vidrio y una unidad de calefacción que generalmente es un baño termostático o baño María (Cromtek, sin fecha).

#### 2.5.4 Liofilización.

La liofilización es un método de conservación de alimentos a muy baja temperatura (-50°C), se realiza mediante sublimación (la materia pasa de estado sólido a gaseoso sin pasar por líquido), con el fin de evitar la pérdida de compuestos volátiles, termosensibles, ya que se desea resguardar las características organolépticas del producto (Navas, 2006, pp. 1-31).

#### 2.5.5 Centrifugación.

La centrifugación es una técnica de transporte basada en el movimiento de las partículas, suspendidas en un medio líquido específico, impulsadas por una fuerza

denominada centrífuga, que tiende a desplazarlas hacia fuera del centro de rotación (Tuñez, Muñoz y Montilla, pp. 2-6).

2.6 Técnica para determinar la concentración de compuestos coloreados en una solución.

### 2.6.1 Colorimetría.

Aparicio (2017, pp. 18-23) expone que existen diversas técnicas de medición de color y entre ellas se encuentra la colorimetría. Esta técnica provee información cualitativa y cuantitativa sobre sustancias en disolución. El colorímetro es un equipo que cuenta con la capacidad de dirigir un haz de luz paralela monocromática a través de una muestra líquida y medir la intensidad del haz luminoso emergente.

Existe un estándar internacional para medición de color, el cual fue definido en 1976 por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), expertos en la ciencia de la luz y el color; dicho estándar es el espacio de color CIELAB (o CIE 1976  $L^*a^*b^*$ ). Se aplica en el sector científico e industrial para medir el color de materiales sólidos y semisólidos de distinta naturaleza.  $L^*$  representa la luminosidad de un objeto,  $a^*$  la variación de verde a rojo, y  $b^*$  la variación de azul a amarillo (Goñi y Salvadori, 2015).

Los colorímetros tienen la capacidad de analizar muestras y proveer valores para los parámetros de  $L$  (luminosidad),  $a$  (coordenada de cromaticidad de verde a rojo) y  $b$  (coordenada de cromaticidad de azul a amarillo) anteriormente descritos.

## 2.7 Técnicas de identificación cromatográficas.

### 2.7.1 Cromatografía de capa fina.

En la cromatografía de capa fina se identifica visiblemente la cantidad de pigmentos presentes. La técnica consiste en colocar en un extremo de la placa de sílica la muestra; la placa se sumerge en la fase móvil sin que toque la muestra. Por medio de la capilaridad, la fase móvil va ascendiendo lo que provoca un arrastre de pigmentos y por ello la separación de cada compuesto que posee la muestra.

### 2.7.2 Cromatografía por columna.

Esta técnica se utiliza para separar los compuestos de una mezcla. Consta de 3 elementos, la muestra, la cual es la mezcla de la sustancia que se desea separar, la fase estacionaria es la sustancia que puede tener afinidad o no a la muestra y la fase móvil, que es la sustancia que puede tener afinidad o no a la muestra que puede ser un líquido o un sólido.

Esta técnica se basa en añadir la fase estacionaria en la columna, se toma una alícuota de la muestra y se añade en la parte superior de la columna, la fase móvil fluye por gravedad, los compuestos de la muestra quedan separados fraccionadamente y los cuales se recolectan en la salida de acuerdo con la afinidad a la fase móvil o a la líquida.

### 2.7.3 Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) se utiliza para separar los componentes de una mezcla basándose en diferentes tipos de interacciones químicas entre las sustancias a analizar (contenidas en la fase móvil), y la columna cromatográfica (fase estacionaria), mediante el bombeo de la fase móvil a través de la columna (Guzmán, sin fecha, párr. 1).

El tiempo de retención de los componentes de la muestra depende de la naturaleza de ésta, de la composición de la fase estacionaria y de la fase móvil y se considera una propiedad característica de dicho compuesto bajo determinadas condiciones (Guzmán, sin fecha, párr. 2).

## 2.8 Técnicas espectroscópicas cualitativas y cuantitativas de betalaínas.

### 2.8.1 Espectrofotómetro UV-Vis

La absorción de radiación ultravioleta se produce por la excitación de los electrones de enlace y como consecuencia, los picos de absorción se correlacionan con los enlaces de las especies objeto de estudio.

Con esta técnica se pueden realizar análisis cuantitativos como cualitativos; en los cuantitativos se determinan los compuestos que contienen grupos absorbentes y/o determinar la concentración de la muestra y en los cualitativos identificación de sustancias químicas (Skoog, Holler y Nieman, 2001, pp. 353-343).

### 2.8.2 FTIR

El infrarrojo, es una radiación electromagnética con una longitud de onda mayor que la luz visible, pero menor que la radiación de microondas; su longitud de onda está desde 700 nm hasta 1 mm. El IR en la zona del espectro no es visible ante los ojos humanos, pero sí se puede detectar mediante diferentes instrumentos, hay objetos, animales y personas que generan calor y estos emiten radiación infrarroja.

La radiación puede ser absorbida o reflejada, al absorber radiación infrarroja el contenido energético de las sustancias aumenta, debido a que ocurren transiciones en los movimientos vibracionales y rotacionales de las moléculas por lo tanto al absorber dicha energía la sustancia aumenta de temperatura.

La intensidad de las bandas depende del cambio en el momento bipolar que se produzca con la vibración. La región donde absorben las diferentes sustancias depende de la naturaleza del enlace y de la masa de los átomos vibrando (Fontal, 2005, pp. 96-98).

### 2.9 Cuantificación de Betalaínas.

Para contabilizar las betacianinas provenientes de la pulpa de las cuatro variedades de pitahaya, se utilizó la técnica de espectrometría UV/VIS, obteniendo la absorbancia de cada una de las muestras, dichos resultados fueron sustituidos en la fórmula descrita por (Castellanos-Santiago y M. Yahia, 2008).

$$BC \left[ \frac{mg}{g} \right] = \left[ \frac{A(DF)(MW)Vd(1000)}{\epsilon LWd} \right]$$

Dónde:

- BC= Contenido de Betacianina o Betaxantina.
- A= valor de absorción en el máximo de absorción de 535 nm y 483 nm para betacianina y betaxantinas, respectivamente.
- MW= Peso molecular, Betacianina 550 g/mol.
- Vd= Volumen de solución de pulpa seca (l).
- $\epsilon$ = Constante de absorción molar, Betacianina 60000 (mol l/cm) y Betaxantina 48000 (mol l/cm).
- L= Anchura de cubeta de cuarzo (1 cm).
- DF= Factor de dilución.
- Wd= Peso pulpa seca (g).

## Capítulo III: Metodología

### 3.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio que requirió la investigación fue de tipo exploratorio y experimental.

Exploratorio: se indagó y recopiló información desde un enfoque nuevo.

Experimental: el estudio se realizó en los laboratorios de CIECA, donde se llevaron a cabo las pruebas de obtención del colorante de las pitahayas mediante diferentes métodos de extracción, incluyendo también análisis de caracterización y cuantificación de los colorantes de las cuatro variedades.

Por otra parte, se realizaron análisis complementarios de caracterización en el laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

### 3.2 Variables con su definición conceptual

**Figura 10.** Variables.

Variable	Variable Dependiente	Variable Independiente	Definición Conceptual.
Métodos de extracción	Recursos Estructura química.	Condiciones Factores externas e internas.	Factores: Temperatura, tiempo, etc.
Contenido de Betalaínas en las variedades de Pitahaya.	Contenido de Betalaínas.	Variedad de la pitahaya.	

Nota. Variables propias de la investigación.

### 3.3 Población y muestra

En cuanto a la población de pitahayas, como se mencionaba en la sección 1.4, se identificó que en la ENA se cultivan alrededor de 25 especies y que se cuenta actualmente con cuatro variedades completamente desarrolladas: Rosa, Lisa, Cebra y Orejona. Tomando esto en consideración, se estableció a las 25 especies de pitahaya como la población principal de esta investigación y a las 4 variedades como muestra a estudiar.

Población: 25 especies de pitahaya.

Muestra: 4 variedades de pitahaya.

Variedad 1: Rosa

Variedad 2: Lisa

Variedad 3: Cebra

Variedad 4: Orejona

Por otra parte, se realizaron análisis sensoriales de determinados alimentos en los que se probaron algunos de los colorantes obtenidos. Para dichos análisis la población y muestra fue la siguiente:

Población: 5 panelistas no experimentados.

Muestra: 3 productos.

Producto 1: Helado de crema con 12 ml de colorante líquido.

Producto 2: Helado de crema con 6 ml de colorante líquido.

Producto 3: Yogur con 0.33 g de colorante liofilizado.

### 3.4 Procedimiento y métodos de recolección de datos.

Debido a que la investigación fue mixta se realizó la obtención de datos de forma cualitativa y cuantitativa. Para adquirir los datos de forma cuantitativa, se prepararon muestras de cada variedad de pitahaya estudiada para la cuantificación de sus betalaínas mediante la técnica de espectrofotometría UV/VIS, según lo que describe el apartado 3.15.

Asimismo, se realizaron análisis sensoriales con el fin de medir la aceptación de la apariencia del producto (color) de algunos de los colorantes obtenidos durante el proceso de experimentación previo a la cosecha oficial de las cuatro variedades de pitahaya estudiadas.

Se contó con la participación de cinco panelistas no especializados y los análisis se realizaron en las instalaciones de CEICA. Se evaluaron 3 muestras de alimentos a los cuales se les adicionó colorante de pitahaya en diferentes cantidades y presentaciones. La primera muestra fue un helado para el cual se adicionaron 12 ml de colorante líquido al final de su elaboración, la segunda muestra fue también un helado al cual se le añadieron 6 ml de colorante y la tercera muestra fue un yogur al cual se le adicionaron 0.33 gramos de colorante liofilizado.

El instrumento proporcionado para la evaluación de las tres muestras fue elaborado tomando en cuenta la escala hedónica de 9 puntos, empleando los siguientes criterios de puntaje y calificación:

**Figura 11.** Puntaje de la escala hedónica.

PUNTAJE	CALIFICACIÓN
9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta ligeramente
5	Ni me gusta, ni me disgusta
4	Me disgusta ligeramente
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta muchísimo

Nota. La figura representa la puntuación utilizada en escala hedónica para conocer la percepción de los panelistas con respecto a las muestras. Fuente: Paucar-Menacho, Salvador-Reyes, Guillén-Sánchez y Mori-Arismendi (2016, pp. 121-132).

Los atributos evaluados fueron apariencia, color, olor, textura y sabor, y es preciso mencionar que, para el caso de esta investigación, el atributo de mayor interés fue el color. Se solicitó a los participantes evaluar cada una de las muestras empleando los criterios de la escala hedónica según puntaje y calificación.

### 3.5 Procesamiento y análisis de datos.

Para realizar la cuantificación de las betalaínas provenientes del colorante extraído de las cuatro variedades de pitahaya, se utilizó la técnica de espectrofotometría Uv-Vis y el valor de absorbancia obtenido en cada una de las muestras se sustituyó en la fórmula descrita en el apartado 2.2.10. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos para identificar la variedad que poseía el mayor contenido de betalaínas.

En cuanto a los resultados del análisis sensorial, estos fueron procesados haciendo uso del Software estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

### 3.6 Ensayos para determinación del método de extracción a utilizar.

Para definir el método que se utilizó en la extracción de los colorantes de las cuatro variedades de pitahaya se realizaron once pruebas preliminares. En dichas pruebas se utilizó en un principio como muestra la remolacha, ya que es un tubérculo que dentro de su composición están presentes las betalaínas, y, además, se realizaron pruebas con pitahaya. Estos ensayos de prueba y error se llevaron a cabo para poder avanzar con el proceso de

experimentación que permitió recopilar información basada en la práctica, para definir el proceso final que se utilizó para la extracción, anticipando la fecha de cosecha de las cuatro variedades a analizar, las cuales se obtuvieron a mediados del mes de junio.

Es preciso mencionar también que para poder organizar de mejor manera el proceso de distinción de cada extracto obtenido, se creó un sistema de identificación en base a códigos para los cuales se tomó en cuenta la materia prima a utilizar, el proceso aplicado o característico y la fecha de análisis.

A continuación, se presentan los códigos de las pruebas de extracción:

**Figura 12. Códigos de las pruebas de extracción.**

Nº EXTRACCIÓN	CÓDIGO	SIGNIFICADO
1	RP19M	Remolacha, primer extracto obtenido el día 19 de mayo.
2	RU20M	Remolacha sometida a ultrasonido el día 20 de mayo.
3	RL25M	Remolacha sometida a licuado el día 25 de mayo
4	PLE25M	Pitahaya sometida a licuado utilizando etanol el día 25 de mayo
5	PSCS2J	Pitahaya sin cáscara y sin semillas, extracto obtenido el día 2 de junio
6	PUP3J	Pitahaya sometida a ultrasonido (pulpa), el día 3 de junio
7	PUC3J	Pitahaya sometida a ultrasonido (cáscara), el día 3 de junio
8	RU7J	Remolacha sometida a ultrasonido el día 7 de junio
9	RM7J	Extracto de remolacha sometido a filtración por manta el día 7 de junio
10	PRL13J	Pitahaya variedad rosa sometida a licuado el día 13 de junio
11	PLL13J	Pitahaya variedad lisa sometida a licuado el día 13 de junio

Nota. Códigos de colorantes para identificar cada uno de los experimentos.

### 3.7 Obtención de extractos de remolacha

Se realizaron una serie de pruebas con remolachas, empleando diferentes procedimientos que se fueron adaptando con el objetivo de identificar el mejor método de

extracción. Se consideró la naturaleza de la materia prima, los reactivos utilizados y los equipos que se disponían.

La metodología de aplicación de las técnicas de ultrasonido y agitación se adaptó del método determinado por García-Cruz, Salinas-Moreno y Valle-Guadarrama (2012, pp. 1-5).

El método de extracción utilizando etanol como solvente, seguido de un proceso de rotaevaporación para eliminar el compuesto, fue adaptado de Coba y otros (2019).

Se aplicaron las Buenas Prácticas de Manufactura durante el proceso de obtención del colorante de remolacha y pitahaya. A continuación, se detallan los procedimientos ejecutados:

Materia prima:

- Remolacha (sin cáscara).

Reactivo:

- Etanol.
- Agua destilada.

Materiales:

- Beaker (1000 ml)
- Matraz Balón. (500 ml)
- Embudo Büchner. (500ml)
- Matraz de erlenmeyer. (500ml)
- Papel para filtrar Whatman 1
- Papel filtro para café
- Colador
- Tamiz tipo manta.
- Cortador de papa.
- Mortero de ágata.

Equipo:

- Plancha con agitador magnético. (CORNING, PC-420D)
- Bomba de vacío. (WELCH, 2522B-01)
- Rotavapor. (Yamato, RE200)
- Baño María. (Yamato, Water Bath BM200)
- Balanza analítica. (Sartorius, AZ214)
- Procesador de alimentos. (NutriBullet, 600)

### 3.7.1 Extracción de colorante de remolacha mediante agitación y rota evaporador

Se realizó una primera extracción (extracto RP19M), lavando y cortando la pulpa de la remolacha en cuadros pequeños. Se pesaron 100.42 g de la pulpa y fueron colocados en un beaker de 250 ml con 100 ml de etanol, sometiéndolo a agitación en una plancha con agitador magnético a 220 RPM por una hora. Posteriormente, se procedió a filtrar al vacío la muestra, implementando un sistema de filtración conformado por un Kitasato de 500 ml, un embudo Büchner y una bomba de vacío. El líquido filtrado se colocó en un balón de 500 ml conectado a un sistema rotaevaporador para la separación del etanol del extracto. El colorante obtenido se degradó al no haber sido refrigerado.

**Figura 13.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Remolacha picada. (2) Filtración al vacío. (3) Rotaevaporador.

Para la obtención del extracto RL25M se lavó y cortó en cuadros pequeños una remolacha y se pesaron 100.65 g de su pulpa, los cuales se homogeneizaron con 100 ml de etanol empleando un procesador de alimentos. La mezcla obtenida se sometió a agitación siguiendo el procedimiento descrito en la primera extracción. Se realizó una doble filtración utilizando primero un colador y luego empleando el sistema de filtración al vacío detallado en el apartado anterior, además de también evaporar el etanol siguiendo el método empleado en el primer extracto.

**Figura 14.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Proceso de corte de remolacha. (2) Filtración al vacío del extracto. (3) Extracto en rotaevaporador (4) Colorante remolacha.

### 3.7.2 Extracción de colorante de remolacha mediante ultrasonido y rotaevaporador

Para el proceso de obtención del extracto RU20M, se lavó y cortó una remolacha en trozos pequeños, se pesaron 100.23 g de su pulpa, los cuales fueron macerados con un cortador de papas y a los que se le añadieron 100 ml de etanol 90%. La muestra se sometió a sonicación en un equipo de ultrasonido por 30 minutos controlando que la temperatura no excediera los 30°C. Al cumplir el tiempo establecido se aplicaron las técnicas de filtración y rotaevaporación descritas en la primera extracción.

**Figura 15.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Sonicación de materia prima. (2) Muestra sonicada. (3) Eliminación del agua por medio de rotaevaporación.

### 3.7.3 Extracción de colorante de remolacha mediante ultrasonido

Utilizando la técnica de ultrasonido, se obtuvo el extracto RU7J. La remolacha se preparó con un lavado y posteriormente se cortó en trozos medianos, pesando 100.79 g que fueron homogeneizados con 100 ml de agua destilada en un procesador de alimentos. Se aplicó la misma técnica de ultrasonido del apartado 3.7.2. Se realizó una doble filtración, la primera con colador y la segunda con un tamiz tipo manta.

**Figura 16.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Licuado. (3) Sonicación de muestra. (4) Filtración con tamiz. (5) Filtración con tamiz tipo manta.

### 3.7.4 Extracción de colorante de remolacha mediante agitación

Para la obtención del extracto RM7J se siguió el mismo procedimiento de preparación de la muestra detallado en el punto 3.7.1, trabajando esta vez con 100.65 g de remolacha. Se homogeneizó en un procesador de alimentos por corto tiempo, para disminuir el tamaño de la muestra y así facilitar su maceración empleando un mortero de ágata. Se trasladó la muestra macerada a un beaker con 100 ml de agua destilada y se sometió a agitación en una plancha agitadora por una hora. Como paso final se filtró con un tamiz tipo manta.

**Figura 17.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Maceración remolacha. (2) Muestra en plancha agitadora.

### 3.8 Obtención de extractos de pitahaya

Se llevaron a cabo algunos ensayos con pitahayas de diversas variedades, que fueron recolectadas antes del periodo de cosecha oficial para poder comenzar el proceso de experimentación con la pitahaya, anticipando la cosecha que aún no estaba lista en el periodo de mayo a junio. Los ensayos efectuados fueron fundamentales para lograr determinar el método de extracción que se estandarizó para la obtención del colorante de las cuatro variedades estudiadas. A continuación, se detalla la metodología aplicada incluyendo reactivos, material y equipos implementados:

#### Materia prima:

- Pitahaya variedad lisa
- Pitahaya variedad rosa

#### Reactivos:

- Etanol
- Agua destilada

#### Materiales:

- Beaker (1000 ml)
- Matraz Balón (500 ml).
- Embudo Buchner.
- Matraz de erlenmeyer (500 ml).
- Papel para filtrar Whatman 1

- Papel filtro para café
- Colador.
- Tamiz tipo manta.
- Kitasato (500ml).

Equipo:

- Plancha con agitador magnético. (CORNING, PC-420D)
- Bomba de vacío. (GAST, DOA-P704-AA)
- Bomba de vacío. (WELCH, 2522B-01)
- Rotavapor. (Yamato, RE200)
- Baño María. (Yamato, Water Bath BM200)
- Balanza analítica. (Sartorius, AZ214)
- Procesador de alimentos (NutriBullet, 600)

### 3.8.1 Extracción de colorante de pitahaya mediante agitación

La primera extracción con pitahaya (Extracto PLE25M) se realizó utilizando la cáscara, pulpa y semilla, obteniéndose un peso de 140.25 g, se lavó la fruta y se procesó primero la cáscara y luego la pulpa en trozos con sus semillas en un procesador de alimentos con 140 ml de etanol y la mezcla fue tratada con el mismo procedimiento de agitación, filtración y rotaevaporación según lo descrito en el apartado 3.7.1. para la primera extracción.

**Figura 18.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Pitahaya en trozos con etanol. (2) Mezcla licuada. (3) Filtración con tamiz. (4) Colorante de pitahaya.

Para la obtención del extracto PRL13J, se trabajó con la variedad rosa. Se lavó la fruta, se retiró la cáscara y se pesó la pulpa incluyendo sus semillas, se obtuvo un peso de 184.02 g. Esto se homogeneizó en un procesador de alimentos con agua destilada en una relación 1:1. Se sometió la mezcla resultante a agitación en una plancha con agitador magnético a 220 RPM por una hora y al cumplir el tiempo, se filtró con un tamiz tipo manta procurando que todas las semillas quedarán en el tamiz. Como último paso se filtró al vacío utilizando el sistema especificado en la primera extracción de la sección 3.7.1.

**Figura 19.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Pesado de fruta entera. (2) Licuado de muestra. (3) Agitación en plancha magnética. (4) Filtración del extracto.

El extracto PLL13J se extrajo de la variedad de pitahaya lisa. Se aplicó el mismo procedimiento descrito anteriormente, con la única diferencia siendo el peso utilizado, que en este caso fue de 138.85 g.

**Figura 20.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Corte transversal de la fruta. (2) Filtración por tamiz tipo manta. (3) Filtración al vacío.

### 3.8.2 Extracción de colorante de pitahaya aplicando filtración en tela tipo manta.

En la quinta extracción con pitahaya (Extracto PSCS2J), se lavó la fruta, se retiró su cáscara y se pesó la pulpa (sin retirar sus semillas), obteniéndose un peso de 106.6 g. Se filtró la pulpa utilizando un tamiz tipo manta, asegurando que todas las semillas permanecieran dentro del tamiz.

**Figura 21.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Peso de pulpa. (2) Extracción. (3) Residuo de semillas.

### 3.8.3 Extracción de colorante de pitahaya mediante ultrasonido.

La sexta extracción con pitahaya (Extracto PUP3J), comenzó con el lavado de la fruta, seguido del retiro de su cáscara, para luego cortar la pulpa en trozos, pesando 63.45 g. Se sometió a ultrasonido por 30 minutos, con una temperatura controlada que no excediera los 30°C. Como último paso se filtró empleando un tamiz tipo manta.

**Figura 22.** Determinación de método de extracción.



Nota. Pulpa de pitahaya.

### 3.8.4 Extracción de colorante de pitahaya mediante agitación y ultrasonido.

Una séptima extracción (PUC3J) se realizó utilizando la cáscara de la pitahaya empleada para la sexta extracción. Se cortó en cuadros pequeños, se pesó (55.14 g) y se maceró con un mortero para posteriormente someterla a ultrasonido con las mismas condiciones descritas en el apartado 3.7.2. Al finalizar el tiempo establecido, se realizó una filtración con tamiz tipo manta, pero al observar que no era posible realizar una filtración adecuada, se optó por utilizar un procesador de alimentos añadiendo 150 ml de etanol. La mezcla se agitó en una plancha con agitador magnético a 220 RPM por una hora, se filtró nuevamente utilizando un tamiz tipo manta y se utilizó un rotaevaporador para extraer el etanol del colorante.

**Figura 23.** Determinación de método de extracción.



Nota. (1) Pesado de cáscara. (2) Adición de etanol. (3) Licuado. (4) Extracto.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las once extracciones preliminares utilizando remolacha y pitahaya, para la determinación del método de extracción del colorante de las cuatro variedades de pitahaya (orejona, cebra, lisa y rosa):

**Tabla 1.** Resumen de extracciones preliminares.

Código de extracción	Materia prima (g)	Reactivo utilizado	Técnicas aplicadas				
			Homogeneización mecánica	Ultrasonido	Filtración con manta	Filtración al vacío	Rotaevaporación
RP19M	100.42	Etanol				X	X
RU20M	100.23	Etanol		X		X	X
RL25M	100.65	Etanol				X	X
PLE25M	140.25	Etanol				X	X
PSCS2J	106.6	-			X		
PUP3J	63.45	-		X	X		
PUC3J	55.14	Etanol	X	X	X		X
RU7J	100.79	Agua destilada	X	X	X		
RM7J	100.65	Agua destilada	X		X		
PRL13J	184.02	Agua destilada	X		X	X	
PLL13J	138.85	Agua destilada	X		X	X	

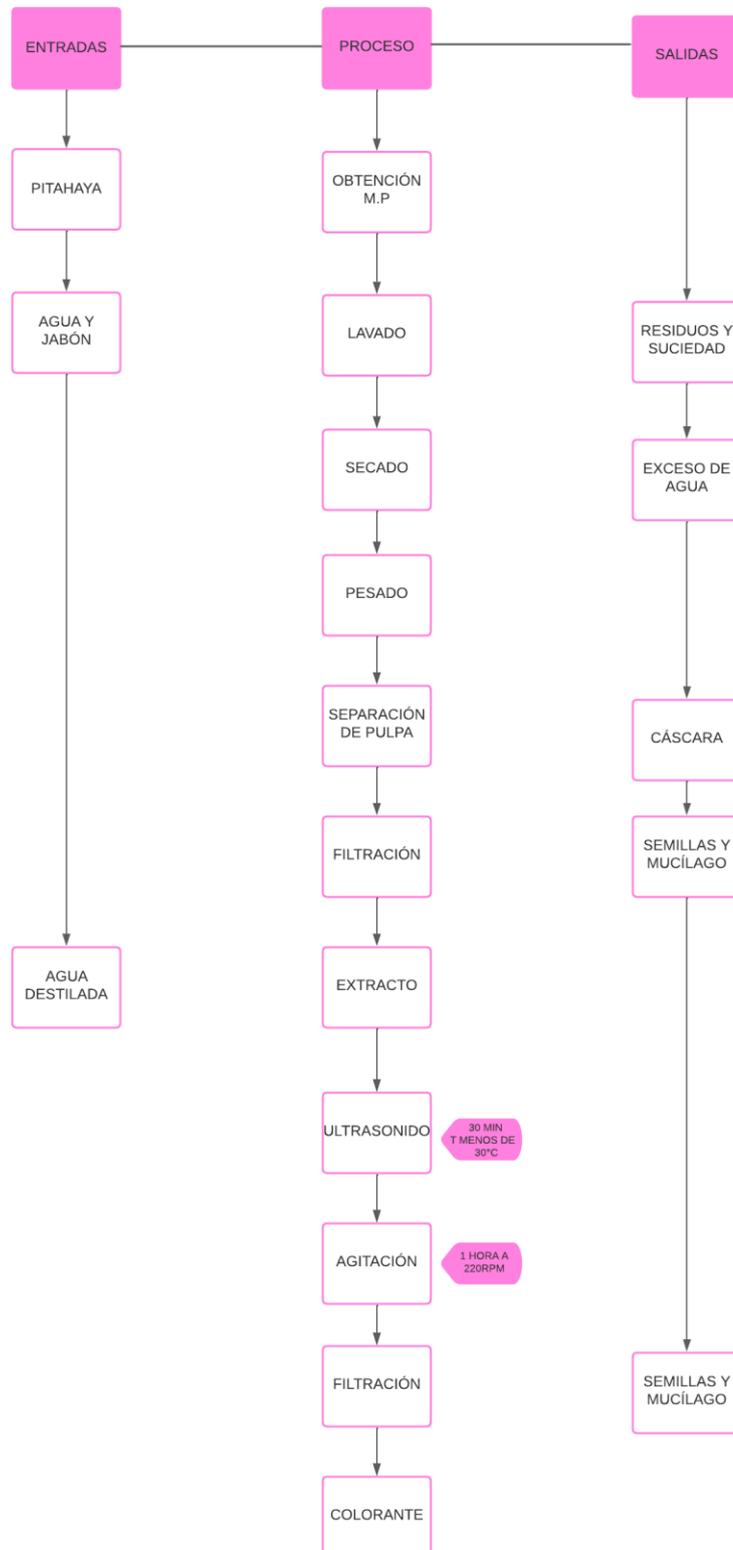
Nota. Se presenta cada extracción según su código, cantidad de materia prima utilizada (remolacha o pitahaya), reactivo utilizado y las diversas técnicas aplicadas en cada extracción.

### 3.9 Extracción de colorante de las cuatro variedades de pitahaya.

En esta sección se presenta el procedimiento de extracción de colorante determinado para las cuatro variedades de pitahaya. Dicho procedimiento fue determinado tomando en cuenta las características específicas de la pitahaya, la naturaleza de los reactivos que podían ser utilizados y los equipos que se disponían.

### 3.9.1 Flujograma de proceso de extracción de colorante para las cuatro variedades.

**Figura 24. Flujograma de proceso.**



Nota. La figura representa los pasos para la extracción de los colorantes de pitahaya para las cuatro variedades.

### 3.9.2 Proceso de extracción de los colorantes.

#### Materia prima:

- Pitahaya variedad Orejona
- Pitahaya variedad Cebra.
- Pitahaya variedad Lisa.
- Pitahaya variedad Rosa.

#### Reactivos:

- Agua destilada.

#### Materiales:

- Beaker (1000 ml).
- Matraz de erlenmeyer (500 ml).
- Tamiz tipo manta.
- Probeta volumétrica (100 ml).
- Agitador de vidrio.
- Barra magnética octagonal.

#### Equipo:

- Plancha con agitador magnético. (CORNING, PC-420D)
- Balanza analítica. (Sartorius, AZ214)
- Ultrasonido. (BRANSON, 5800).

Para definir el método de extracción final al cual se sometieron las cuatro variedades, se analizó la metodología empleada en las once pruebas detalladas en los apartados 3.7 y 3.8. Se estableció que el procedimiento a seguir incluiría una filtración inicial, seguido de la aplicación de la técnica de sonicación utilizada para obtener algunos de los extractos preliminares, acompañada de un tratamiento con agitación, y finalizando con una última filtración.

Estas técnicas fueron seleccionadas de forma conjunta debido a que permitían un mejor desprendimiento del colorante de la pulpa y facilitaban el proceso de extracción, de manera que pudiera ser replicable.

En cuanto al reactivo a utilizar, se seleccionó el agua destilada en lugar del etanol, considerando que el producto final de la extracción se implementaría en alimentos.

Todas las extracciones se realizaron aplicando las Buenas Prácticas de Manufactura. Los manipuladores aplicaron un correcto procedimiento de lavado y desinfección de manos. Además, utilizaron implementos adecuados y limpios (Gabacha, guantes, entre otros). Se utilizaron equipos, utensilios y mesas de trabajo en buen estado, los cuales fueron lavados y desinfectados previo a su uso. La materia prima fue lavada con agua y jabón.

Este proceso se aplicó a las cuatro variedades, con la única diferencia siendo el peso y volumen de las pitahayas que se utilizaron en cada una de las cuatro extracciones que se describen a continuación:

### 3.9.3 Variedad Orejona.

Se obtuvieron 2 unidades de pitahaya de la variedad Orejona, con un pH de 3.96 y grados Brix de 5.9, las cuales fueron lavadas y secadas, para posteriormente ser pesadas, obteniéndose un peso total de fruta entera de 781.88 g. Después se separó la pulpa de la cáscara, el peso de la pulpa con semillas fue de 484.3 g y de la cáscara fue de 294.45 g. Es preciso mencionar que de la pulpa con semillas se tomaron muestras para análisis de humedad (detallado en apartado 3.10) y que este procedimiento se efectuó de la misma manera en las tres variedades restantes.

La pulpa con semillas se filtró a través de un tamiz tipo manta, obteniéndose 200 ml de extracto, a los cuales se le adicionaron 200 ml de agua destilada. Esta mezcla se sonicó durante 30 minutos en temperatura controlada (menor a 30°C), después se colocó en la plancha con agitador magnético durante 1 hora. Para finalizar se filtró nuevamente con un tamiz tipo manta.

**Figura 25.** Extracción de colorante variedad Orejona.



Nota. (1) Pulpa. (2) Filtración.

### 3.9.4 Variedad Cebra.

Se realizó el mismo procedimiento especificado en el apartado 3.9.3. Los pesos para esta variedad fueron los siguientes: 738.85 g de pitahaya entera variedad Cebra, 356.42 g de pulpa con semillas y 381.96 g de cáscara. Su pH fue de 4.21 y grados Brix de 4.4. Se obtuvieron 200 ml de extracto por medio de tamiz tipo manta, a los cuales se les adicionaron 200 ml de agua destilada.

**Figura 26.** Extracción de colorante variedad Cebra.



Nota. (1) Pesado. (2) Agitación en plancha magnética. (3) Filtración tapiz tipo manta. (4) Filtración al vacío.

### 3.9.5 Variedad Lisa.

Para esta extracción se utilizó solo una unidad de pitahaya de la variedad Lisa. Se realizó el mismo procedimiento especificado en el apartado 3.9.3. Los pesos para esta variedad fueron los siguientes: 375.97 g de pitahaya entera variedad Lisa, 228.75 g de pulpa con semillas y 147.06 g de cáscara. Con un pH de 4.57 y grados Brix de 7.9. Se obtuvieron 123 ml de extracto por medio de tamiz tipo manta, a los cuales se les adicionaron 123 ml de agua destilada.

**Figura 27.** Extracción de colorante variedad Lisa.



Nota. (1) Pesado de pulpa. (2) Sonicación.

### 3.9.6 Variedad Rosa.

Se realizó el mismo procedimiento especificado en el apartado 3.9.3. Los pesos para esta variedad fueron los siguientes: 672.42 g de pitahaya entera variedad Rosa, 378.3 g de pulpa con semillas y 293.32 g de cáscara. Su pH fue de 4.28 y los grados Brix de 11.8. Se obtuvieron 245 ml de extracto por medio de tamiz tipo manta, a los cuales se les adicionaron 245 ml de agua destilada.

**Figura 28.** Extracción de colorante variedad Rosa.



Nota. (1) Agitación. (2) Filtración.

### 3.10 Determinación de pH

Material:

- 3 beakers

Reactivo:

- Extracto de las cuatro variedades.

Equipo:

- SI Analytics, Titroline 5000.

Proceso:

Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de la fruta, el proceso consistió en colocar 15 ml de extracto de las cuatro variedades de pitahaya en un beaker, con un pHmetro de mesa, se sumerge el electrodo en el extracto, obteniendo así los resultados de pH de las diferentes variedades.

**Figura 29.** Medición de pH.



Nota. La figura representa la medición de pH del colorante extraído de la variedad cebra.

### 3.11 Determinación de Grados Brix

Reactivo:

- Extracto de las cuatro variedades.

Equipo:

- Pocket REFRACTOMETER PAL-1, ATAGO.

Proceso:

Esta técnica mide los sólidos solubles disueltos en 100 gramos de muestra. Para ello colocamos en un refractómetro 2 ml de muestra de cada variedad de pitahaya obteniendo así los sólidos solubles de la pulpa.

**Figura 30.** Medición de grados brix.



Nota. (1) Colorante. (2) Medición de grados brix.

### 3.12 Determinación de humedad y Sólidos totales.

Con el objetivo de identificar el contenido de humedad y de sólidos totales de las cuatro variedades, se tomaron muestras por triplicado de cada variedad. Los sólidos totales están conformados por sólidos solubles (azúcares, ácidos orgánicos) y sólidos insolubles (mucílago, fibra).

Para obtener los sólidos totales se tomó la pulpa liofilizada en el apartado 3.14.2, se realizó restando el 100% menos el porcentaje de humedad.

Los datos de análisis de porcentaje de humedad se obtuvieron ocupando la siguiente fórmula:

$$\%H = \left[ \frac{Pf - Po}{Pf} \right] \times 100$$

Donde:

Pf: Peso final.

Po: peso inicial.

A continuación, se muestra una tabla con el peso de cada muestra tomada:

**Tabla 2. Peso de pulpa húmeda.**

CÓDIGO DE MUESTRAS (*)	PESO DE MUESTRAS (g)
1º	2.12
2º	2.19
3º	2.18
1C	2.07
2C	2.05
3C	2.04
1L	2.40
2L	2.42
3L	2.39
1R	2.40
2R	2.42
3R	2.39

Nota. La figura representa la cantidad de pulpa de las cuatro variedades para liofilizarlas. El código de muestra fue asignado tomando en cuenta la variedad de pitahaya de la cual fue obtenida. La letra O representa a la variedad Orejona, C a la Cebra, L a la Lisa y R a la Rosa.

Estas muestras se colocaron en beakers de 50 ml y fueron sometidas a ultracongelación para luego ser liofilizadas. Al finalizar el proceso de liofilización se tomaron los pesos de cada una de las muestras y se realizaron los cálculos correspondientes para determinar su humedad (ver sección 4.1.2).

### 3.13 Prueba de estabilidad en pH ácido, neutro y básico.

Material:

- Erlenmeyers (25 ml).
- Gotero.

Reactivos:

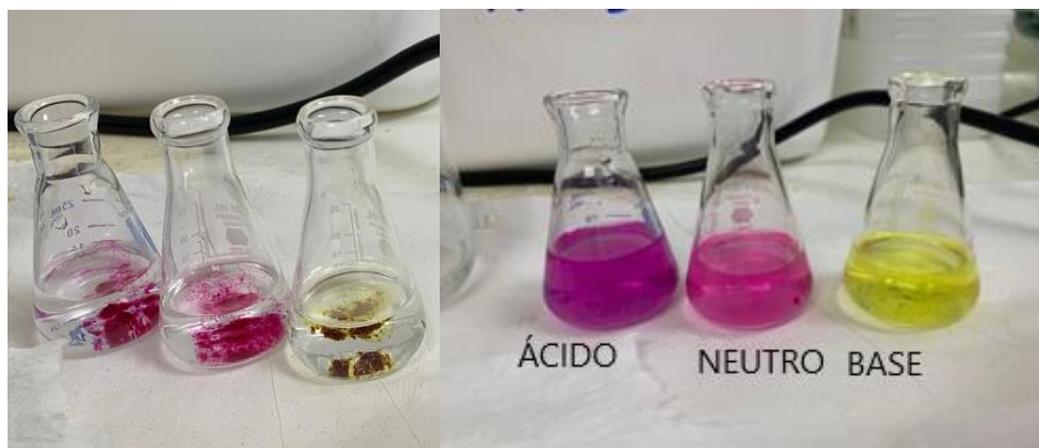
- Colorante PLE25M.
- Solución de pH 4.0.
- Solución de pH 7.0
- Solución de pH 10.0.

Proceso:

En 3 erlenmeyer de 25 ml se añadieron 15 ml de las diferentes soluciones (pH 4.0, pH 7.0 y pH 10.0) y posteriormente se colocaron 4 gotas del extracto en cada erlenmeyer.

En cada erlenmeyer dio una coloración diferente, debido a su concentración de iones hidrógeno.

**Figura 31.** Análisis de pH



Nota. (1) Beakers con diferentes soluciones de pH. (2) Coloración de pH.

3.14 Análisis de la mezcla de componentes en colorantes de pitahaya con la técnica de cromatografía de capa fina (TLC).

Material:

- Capilar.
- Beakers (50 ml).

Reactivos:

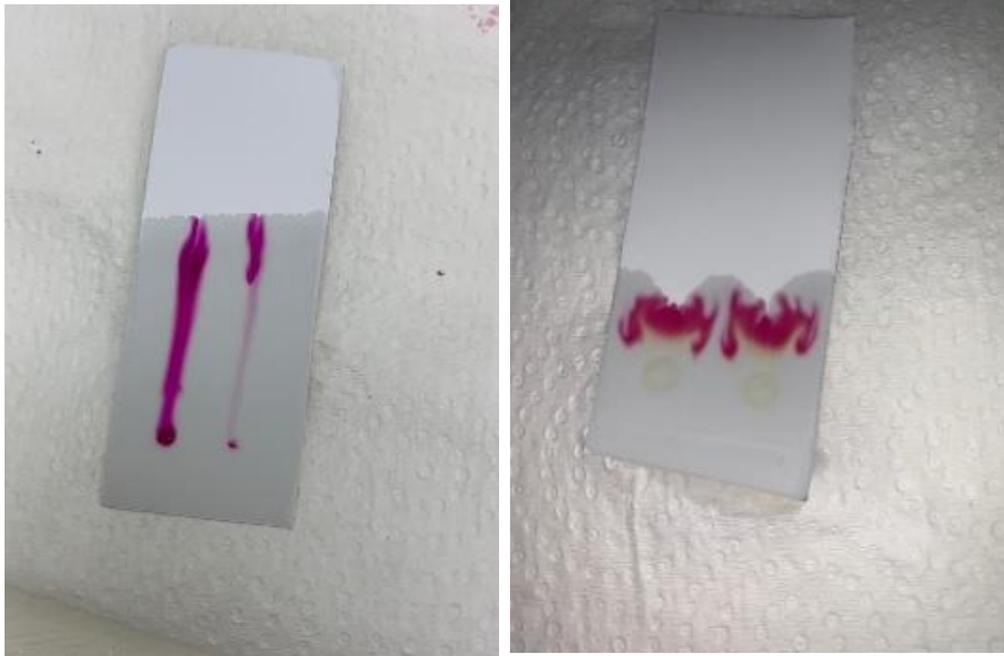
- TLC Silica gel 60 F254
- Agua destilada.
- Colorante PLE25M.

Proceso:

Se colocaron 5 ml de agua destilada en los beakers de 50 ml, luego se añadió 2 gotas del colorante con ayuda del capilar en la placa de sílica.

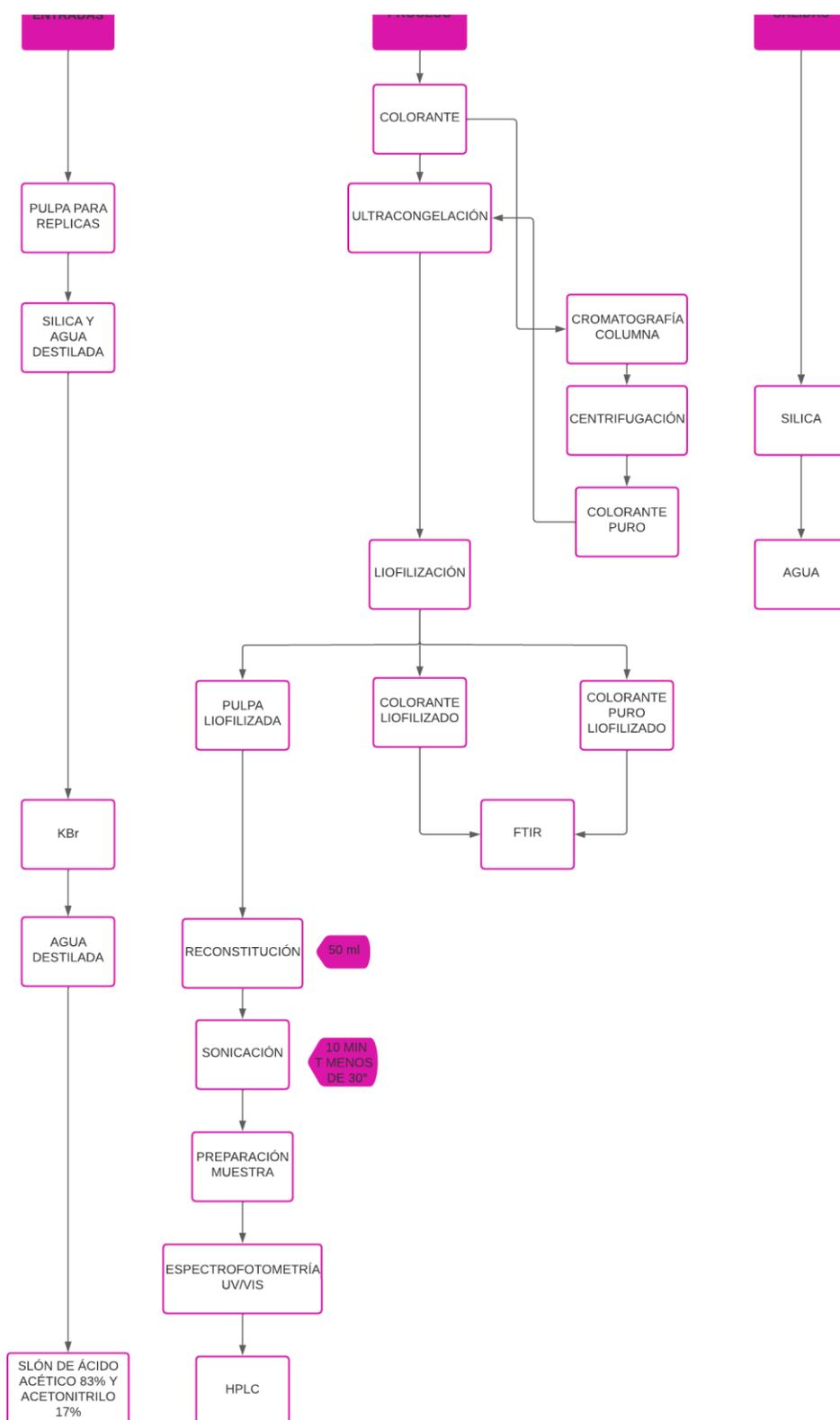
Se introdujeron las tiras dentro del beaker correspondiente y se esperó a que el solvente arrastrara por capilaridad los compuestos del colorante.

**Figura 32.** Análisis de componentes en cromatografía de capa fina.



Nota. (1) Betacianinas. (2) Betaxantinas y Betacianinas.

**Figura 33. Flujo de proceso.**



**Nota.** La figura representa los pasos para realizar los análisis cualitativos y cuantitativos de las cuatro variedades.

3.15 Separación de compuestos en colorante de pitahaya para su purificación mediante la técnica de cromatografía por columna.

Los siguientes análisis fueron realizados para las cuatro variedades de pitahaya (Orejona, Cebra, Lisa y Rosa).

Material:

- Cono de goma.
- Beaker (100 ml).
- Agitador.
- Papel filtro.

Reactivos:

- Sílica en gel.
- Agua destilada.
- Colorante.

Equipo:

- Columna.
- Kitasato (500 ml).
- Embudo Büchner.
- Bomba de vacío. (WELCH, 2522B-01)

Proceso:

Se colocó la columna sostenida por el soporte universal, se conectó la bomba de vacío con el kitasato, sobre este se instaló el cono de goma y el embudo Büchner, y dentro del embudo se le colocó papel filtro. Aparte se pesaron 20 gramos de sílica en un beaker de 100 ml y se le agregaron 50 ml de agua destilada, se agitó y se colocó en la columna gradualmente, se realizaron 4 lavados con agua destilada, después de realizar los lavados se agregó 1 ml de colorante y se añadió más agua destilada

Se pudo observar que en la parte superior de la sílica se encontraba una ligera capa de mucílago de la pulpa de pitahaya.

Durante la separación se percibió que la fase móvil arrastró el colorante y visiblemente sólo se observó una pigmentación magenta.

**Figura 34.** Purificación por cromatografía en columna.



Nota. (1) Colocación de muestra. (2) Columna. (3) Muestra pura.

3.16 Separación de sólidos del colorante puro de pitahaya mediante la técnica de centrifugación.

Material:

- Puntas centrifugas.

Reactivos:

- Colorante puro.

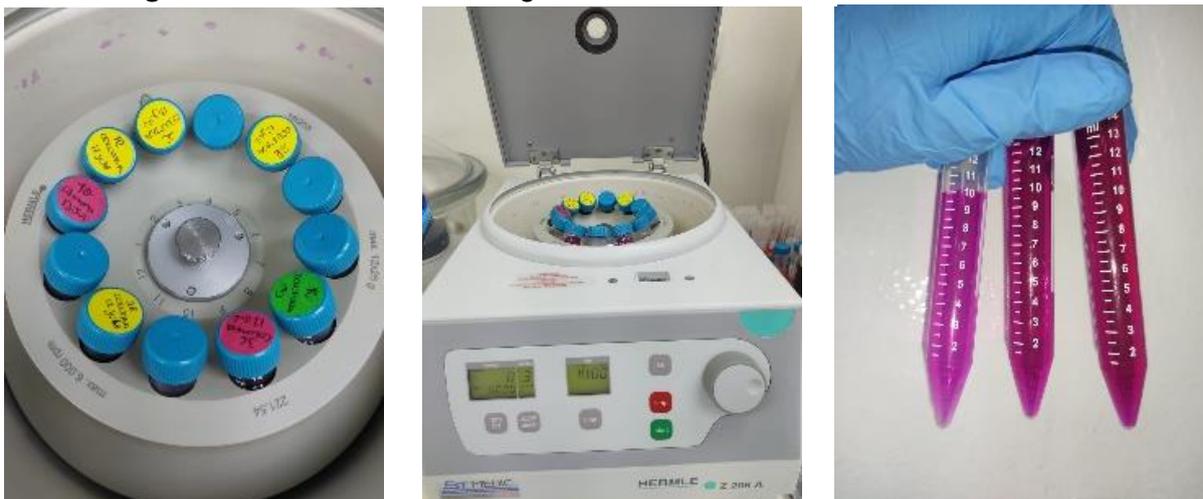
Equipo:

- Centrífuga (HERMLE Labortechnik GmbH, Z206A)

Proceso:

Para evitar que en el colorante tuviera residuos de sílica, se agregó 14 ml del colorante obtenido del apartado anterior en las puntas centrifugas. Se introdujeron las muestras en la centrífuga por 10 minutos a 6000 RPM a temperatura ambiente. Pasado el tiempo, se procedió a decantar la mezcla, con el fin de obtener el colorante puro sin sólidos.

**Figura 35.** Proceso de centrifugación.



Nota. (1) Centrífuga. (2) Portamuestra (3) Muestras centrifugadas.

### 3.17 Identificación de especies de betacianinas y betaxantinas mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA)

#### Materiales:

- Vial.
- Septa.
- Jeringa.
- Filtro de jeringa de nylon con poro de 0.22  $\mu\text{m}$ .

#### Reactivo:

- Acetonitrilo 17%.
- Ácido acético 83%.
- Colorante puro.

#### Equipo:

- Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA) (SHIMADZU, LC-2030C 3D PLUS)

#### Proceso:

Se instala el septum en el tapón. Del colorante puro obtenido del apartado anterior, se tomaron 4 ml con una jeringa y se le colocó el filtro, se apretó el émbolo de la jeringa

impulsando la muestra por el filtro de jeringa y se colocó la muestra filtrada dentro del vial, se enroscó el tapón del vial, se rotuló y se llevó al equipo para realizar los análisis.

**Figura 36.** Preparación de muestras para inyección en HPLC.



Nota. (1) Tomando muestra. (2) Inyección de muestra. (3) Septum. (4) Muestra para HPLC.

3.18 Eliminación del agua del colorante puro de pitahaya a través de secado en frío por medio del Liofilizador.

El tratamiento de ultracongelación previo a la liofilización y el procedimiento de liofilizado de las muestras fue adaptado de Arciniega y otros (2018).

Se aplicó este análisis a las muestras de colorante puro, colorante que no se pasó por cromatografía de columna y con la pulpa liofilizada.

#### 3.18.1 Liofilización de colorante

Materiales:

- Beaker (50 ml)

Reactivos:

- Colorante.

Equipo:

- Ultracongelador (VWR)
- Liofilizador (LABCONCO, FreeZone 2.5)

Proceso:

Del colorante puro que se obtuvo después de la centrifugación se tomaron 20 ml y se colocaron en un beaker de 50 ml, se llevó a congelar por 2 horas en el ultracongelador, pasado ese tiempo se colocó en el liofilizador por 20 horas, obteniendo colorante en polvo.

Se realizó el mismo procedimiento con el colorante obtenido en el apartado 3.7 las cuales no se pasaron por columna.

**Figura 37.** Liofilización de pulpa de pitahaya.



Nota. La figura representa la eliminación de agua de la pulpa por sublimación en el liofilizador.

### 3.18.2 Pulpa de pitahaya liofilizada.

Materiales:

- Beaker.
- Balanza Analítica.

Materia prima:

- Pulpa pitahaya.

Equipo:

- Ultracongelador.
- Liofilizador

Proceso:

Se pesó aproximadamente 2 gramos de pulpa, se añadieron al beaker y se congeló por dos horas en el ultracongelador. Pasadas las horas se llevó al liofilizador donde se le retiró el agua de la fruta. Se dejó en el desecador.

**Figura 38.** Pulpa liofilizada.



Nota. (1) Muestra húmeda. (2) Muestra seca.

### 3.19 Cuantificación de betacianinas mediante espectrofotometría UV-VIS.

El proceso se basó en el método utilizado por García-Cruz, Salinas-Moreno y Valle-Guadarrama (2012, pp. 1-5).

Materiales:

- Balón volumétrico (50 ml).
- Beaker (50 ml).
- Cubetas de cuarzo.
- Filtro de jeringa PVDF con un poro de 0.45  $\mu\text{m}$ .

Reactivos:

- Pulpa de pitahaya liofilizada (de las 4 variedades).
- Agua destilada 50 ml.

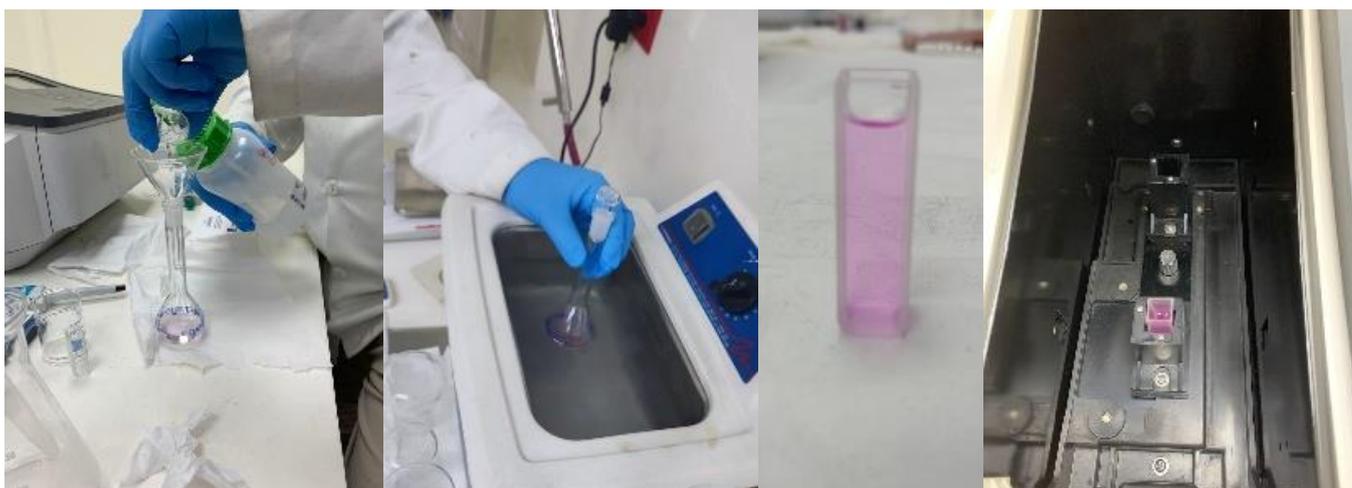
Equipo:

- Ultrasonido (BRANSONIC ULTRASONIC CLEANER, Z 206A)
- Espectrofotómetro Uv/vis (SHIMADZU, UV-1800).

Proceso:

Se pesó la pulpa de la pitahaya liofilizada en un beaker y se le agregó agua destilada, y se agitó vigorosamente para tratar de disolver la pulpa. La mezcla del beaker se agregó al balón volumétrico. Antes de terminar el aforo se llevó al ultrasonido por 10 minutos a temperaturas menores a 30°C. Al terminar el ultrasonido se pudo observar el mucilago incoloro. Se terminó de aforar, después se filtró con el filtro de jeringa, se enjuagó la cubeta de cuarzo 2 veces y luego se llenó con la solución filtrada, se colocó dentro del espectro y se realizó la lectura.

**Figura 39.** Preparación de muestras para cuantificación de betacianinas en UV-VIS.



Nota. (1) Extracción de muestra. (2) Dilución. (3) Sonicación. (4) Muestreo. (5) Cubeta de cuarzo. (6) Portamuestra.

3.20 Análisis de grupos funcionales mediante la técnica de espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) de los compuestos aislados mediante cromatografía en columna de la pulpa de la pitahaya.

Este análisis se les realizó a las muestras de colorante puro y a las muestras de colorante que no se pasaron por cromatografía de columna.

Materiales:

- Colorante

Equipo:

- FTIR (thermoscientific, NICOLET iS5)
- Set Spectroscopic Creativity (PIKE TECHNOLOGIES)

- Mortero de Ágata.

Reactivo:

- Bromuro de Potasio (KBr).
- Colorante Liofilizado.

Proceso:

Se colocaron 5 mg de Bromuro de Potasio y 2 mg de colorante en el mortero de Ágata, se maceró hasta obtener una mezcla homogénea, cuando estaba homogeneizado se emplea en el portamuestra para hacer la pastilla generando presión para poder compactar la muestra. Cuando la pastilla estaba consistente se colocó en otro portamuestra y luego en el equipo. Finalmente se obtuvo el espectro.

**Figura 40.** Preparación de muestras para análisis FTIR.



Nota. (1) KBr y colorante. (2) Maceración. (3) Pastilla de KBr con muestra. (4) Portamuestra.

### 3.21 Aplicaciones en alimentos

Algunos de los colorantes obtenidos de las pruebas preliminares fueron empleados en productos elaborados específicamente con el objeto de probar su aplicación en diferentes alimentos. Se elaboraron dos helados de crema y un yogur, en las instalaciones del laboratorio de alimentos del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas (CEICA) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.

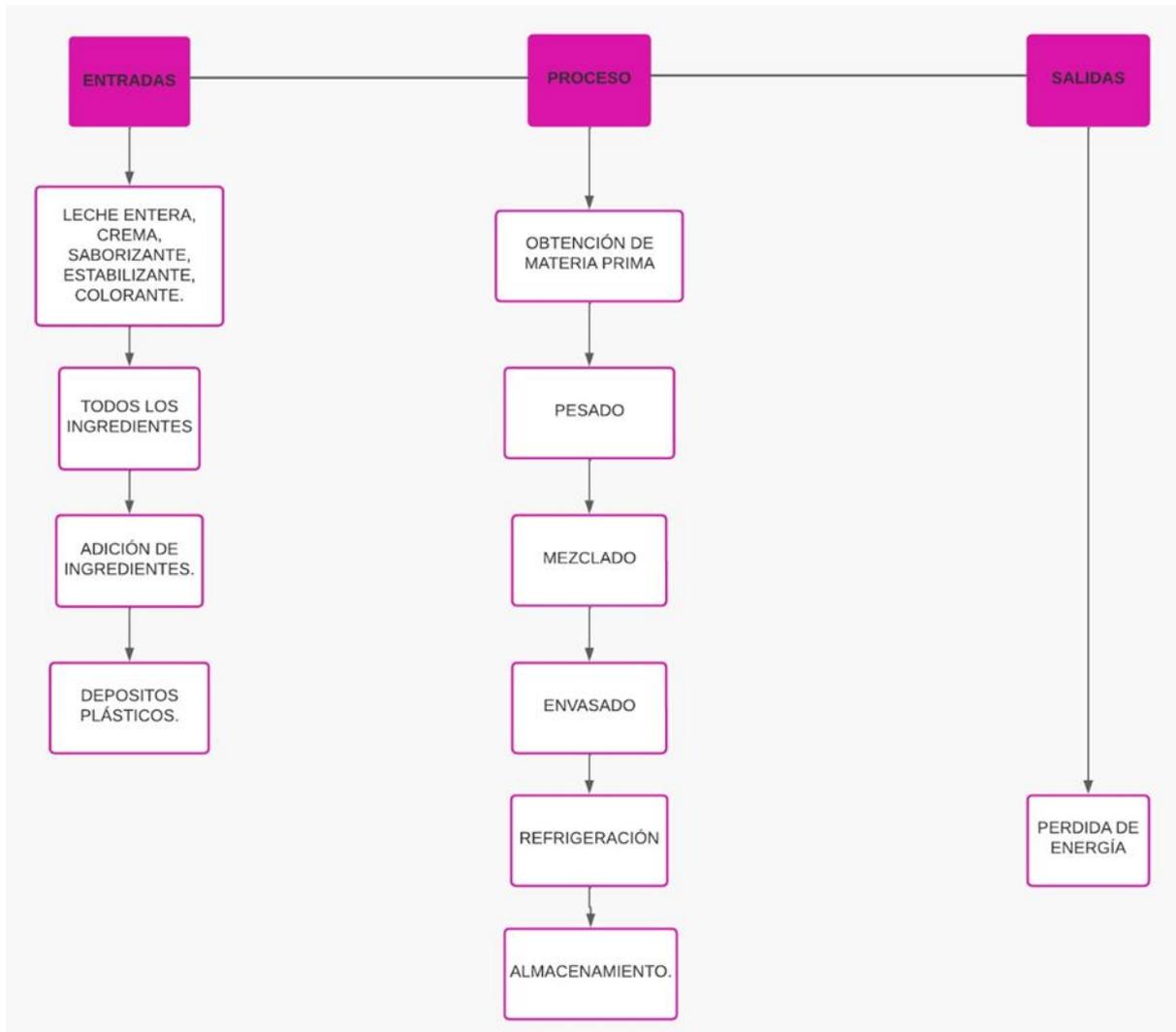
Durante todo el proceso de elaboración de los tres productos se aplicaron las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) de la siguiente manera:

Manipulador: El manipulador se sometió a un lavado y desinfección de manos previo al contacto con la materia prima, materiales y equipos empleados. Se utilizaron implementos adecuados y limpios (Gabacha, guantes, entre otros).

Equipo de trabajo: Las mesas de trabajo utilizadas fueron de acero inoxidable, lavadas y desinfectadas. Se emplearon utensilios limpios, en buen estado y desinfectados.

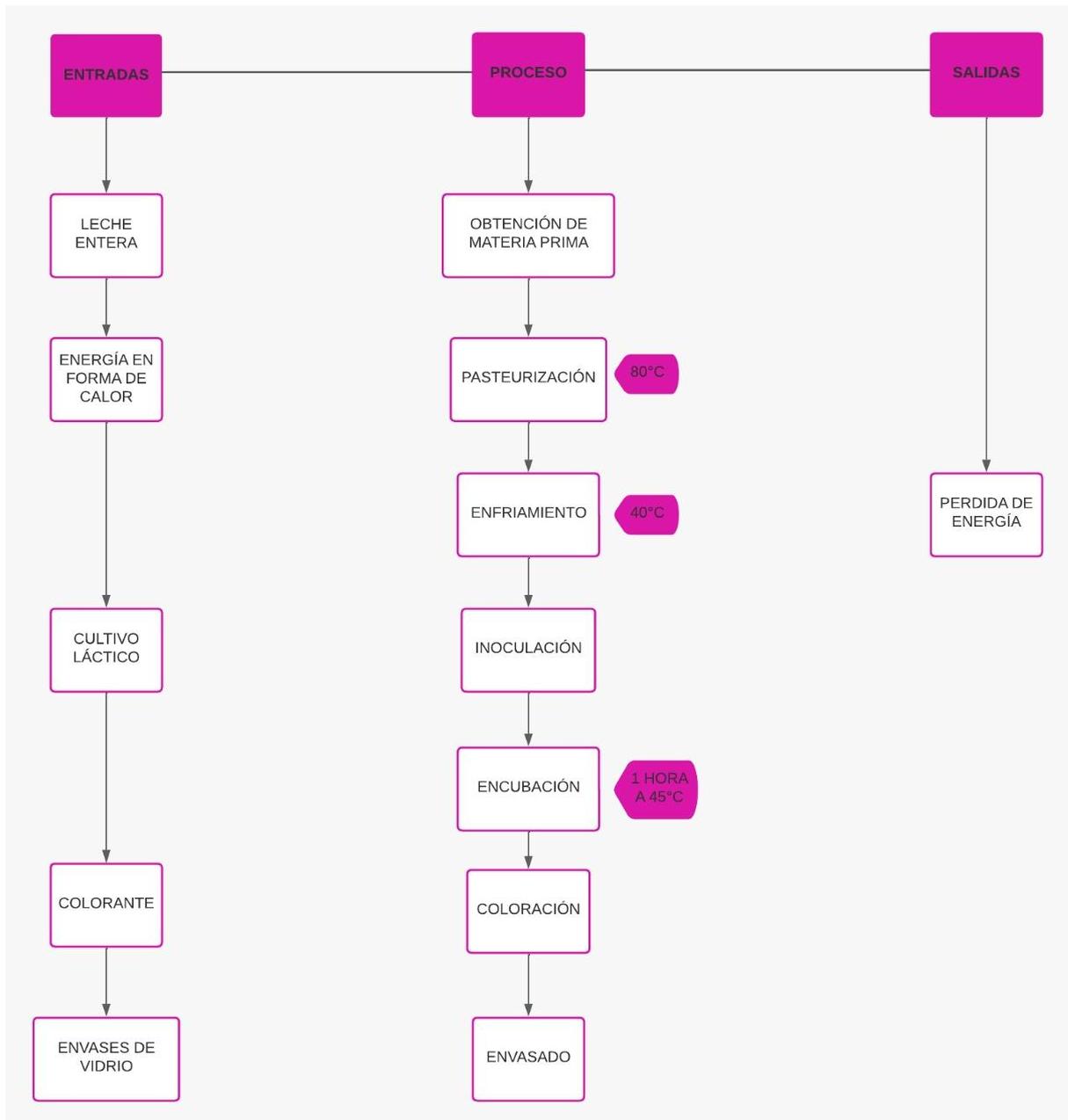
A continuación, se presentan los diagramas de flujo de los productos mencionados:

## 3.21.1 Flujograma de helado de crema

**Figura 41.** Flujograma de helado

Nota. Proceso de elaboración para ambos helados de crema. Se procesaron dos litros de cada helado.

## 3.21.2 Flujograma de yogur

**Figura 42.** Flujograma de yogur

Nota. Proceso de elaboración para un litro de yogur.

### 3.21.3 Concentración de betacianinas adicionadas a la formulación de yogur.

Solo fue posible calcular la concentración de betacianinas en la formulación de yogur, ya que para los dos helados se utilizaron colorantes que no habían pasado por el proceso de liofilización.

Para el cálculo de concentración de betalaínas (betacianinas) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración de betacianinas} = \frac{\text{mg de betacianinas}}{\text{g de muestra}} \times \text{g de colorante}$$

Dónde:

-mg de betacianinas: corresponde a los valores obtenidos de la cuantificación de betacianinas de las cuatro variedades analizadas (ver tabla 6).

-g de muestra: cantidad de betacianinas por cada gramo de pulpa de pitahaya (1g).

-g de colorante: cantidad en gramos de colorante en polvo adicionado al producto.

El colorante utilizado para la elaboración del yogur fue obtenido de la variedad orejona, por lo tanto, se utilizó el valor obtenido de la cuantificación de betacianinas correspondiente a dicha variedad (3.32 mg/g). Este valor fue sustituido en la fórmula detallada anteriormente, al igual que la cantidad de colorante adicionada al yogur (0.33 g). Como resultado se obtuvo una concentración de betacianinas de 1.09 mg.

### 3.21.4 Análisis de pH

Los productos terminados fueron sometidos a análisis de pH.

Material:

- Beakers (25 ml).

Reactivos:

- Helado de crema con colorante PLE25M.
- Helado de crema con colorante PSCS2J.
- Yogur con colorante PSCS2J.
- Buffer ácido (pH 4.0)
- Buffer neutro (pH 7.0)

- Buffer alcalino (pH 10.0)

Equipo:

- Titulador automático (HACH, Titralab AT1000)

Este análisis se realizó utilizando un titulador automático, cada muestra se colocó en beakers de 25 ml con la ayuda del sensor del equipo. Se utilizaron aproximadamente 15 ml de cada una de las muestras.

**Figura 43.** Medición de pH.



Nota. La figura representa la medición de pH.

### 3.21.5 Colorimetría

Adicionalmente, se realizaron análisis colorimétricos de los tres productos.

Material:

- Beakers (500 ml).

Reactivos:

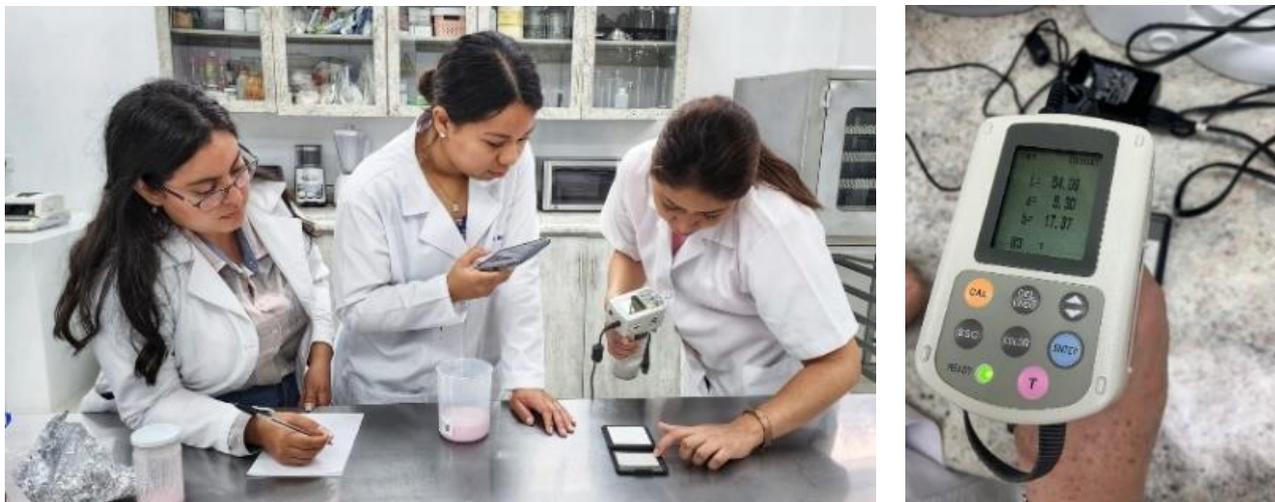
- Helado con colorante PLE25M.
- Helado con colorante PSCS2J.
- Yogur con colorante PSCS2J.

Equipo:

- Colorímetro (Konica Minolta, CR-400)

Para las mediciones de este análisis se tomaron muestras de aproximadamente 25 ml, que fueron colocados en beakers de 500 ml para poder sumergir ligeramente el cabezal de medición en las muestras y así obtener las lecturas necesarias. Por cada muestra se realizaron lecturas en triplicado y se calculó el promedio de los valores obtenidos.

**Figura 44.** Técnica de colorimetría.



*Nota.* La imagen representa la toma de medición de color de las muestras.

### 3.21.6 Análisis sensorial.

Se realizó un análisis sensorial de tres muestras, dos de helado y una de yogur donde se evaluaba el color de los productos.

**Figura 45.** Análisis sensorial.



*Nota.* En la figura representa a los panelistas no experimentados realizando la degustación de las muestras evaluadas.

## Capítulo IV: Resultados de la investigación.

### 4.1 Resultados.

#### 4.1.1 Extracción de colorantes.

**Tabla 3.** Cantidad de colorante extraído.

Muestras	Extracto de pulpa más agua destilada (ml)	Colorante después de filtrado (ml)	de
Orejona	200	242	
Cebra	200	321	
Lisa	123	210	
Rosa	245	396	

Nota. La tabla representa la cantidad de colorante extraído por presión mecánica y después de filtrarse.

#### 4.1.2 Determinación de pH

**Figura 46.** Valor de pH para variedad orejona.



Nota. La figura representa el valor de pH obtenido.

**Figura 47.** Valor de pH para variedad cebra.



Nota. La figura representa el valor de pH obtenido.

**Figura 48.** Valor de pH para variedad lisa.



Nota. La figura representa el valor de pH obtenido.

**Figura 49.** Valor de pH para variedad rosa.



Nota. La figura representa el valor de pH obtenido.

#### 4.1.3 Determinación de grados Brix

**Figura 50.** Valor de °Bx para variedad orejona.



Nota. La figura representa el valor de °Bx obtenido.

**Figura 51.** Valor de °Bx para variedad cebra.



Nota. La figura representa el valor de °Bx obtenido.

**Figura 52.** Valor de °Bx para variedad lisa.



Nota. La figura representa el valor de °Bx obtenido.

**Figura 53.** Valor de °Bx para variedad rosa.



Nota. La figura representa el valor de °Bx obtenido.

#### 4.1.4 Determinación de humedad

**Tabla 4.** Humedad de las diferentes réplicas de las variedades de pitahaya.

Código muestra	%H
1O	84.49292453
2O	83.81050228
3O	84.7733945
<b>Promedio</b>	84.35894044
1C	89.81932367
2C	83.56439024
3C	82.42598039
<b>Promedio</b>	85.2698981
1L	89.71
2L	80.27107438
3L	83.96066946
<b>Promedio</b>	84.64724795
1R	91.09107143
2R	81.62986425
3R	80.61371681
<b>Promedio</b>	84.44488417

Nota. La figura representa el porcentaje de la humedad de las réplicas de las variedades

## 4.1.5 Sólidos Totales.

**Tabla 5.** Sólidos totales.

Código muestra	Peso beaker(g)	Peso Beaker y muestra húmeda (g)	Muestra liofilizada (g)	Po(g)	Pf(g)	%Sólidos totales
1O	29.74	31.86	30.06875	2.12	0.32875	15.5070755
2O	29.45	31.64	29.80455	2.19	0.35455	16.1894977
3O	29.7	31.88	30.03194	2.18	0.33194	15.2266055
<b>Promedio</b>						15.6410596
1C	29.5	31.57	29.71074	2.07	0.21074	10.1806763
2C	29.08	31.13	29.41693	2.05	0.33693	16.4356098
3C	28.99	31.03	29.34851	2.04	0.35851	17.5740196
<b>Promedio</b>						14.7301019
1L	23.58	25.98	23.82696	2.4	0.24696	10.29
2L	23.06	25.48	23.53744	2.42	0.47744	19.7289256
3L	23.28	25.67	23.66334	2.39	0.38334	16.0393305
<b>Promedio</b>						15.3527521
1R	23.78	26.02	23.97956	2.24	0.19956	8.90892857
2R	28.76	30.97	29.16598	2.21	0.40598	18.3701357
3R	29.28	31.54	29.71813	2.26	0.43813	19.3862832
<b>Promedio</b>						15.5551158

Nota. La figura representa el porcentaje de sólidos totales de las réplicas de las variedades.

El porcentaje de sólidos totales se mantuvo en un rango de 14 a 15% para las cuatro variedades. Siendo la variedad orejona la de mayor porcentaje (15.64%) y la variedad cebrá la de menor porcentaje (14.74%).

## 4.1.6 Cromatografía de capa fina.

Se observó que en la pulpa de las diferentes variedades solo se encontraban las betacianinas las cuales son las encargadas de dar coloraciones que pueden ir desde tonos rojos, rosas a púrpuras intensos. Fue evidente de forma cualitativa y visual que no se encontraban las betaxantinas en esta parte de la fruta de ninguna de las cuatro variedades, a diferencia de la cáscara, en cuyo análisis mediante capa fina, si se pudieron observar ambas coloraciones presentes.

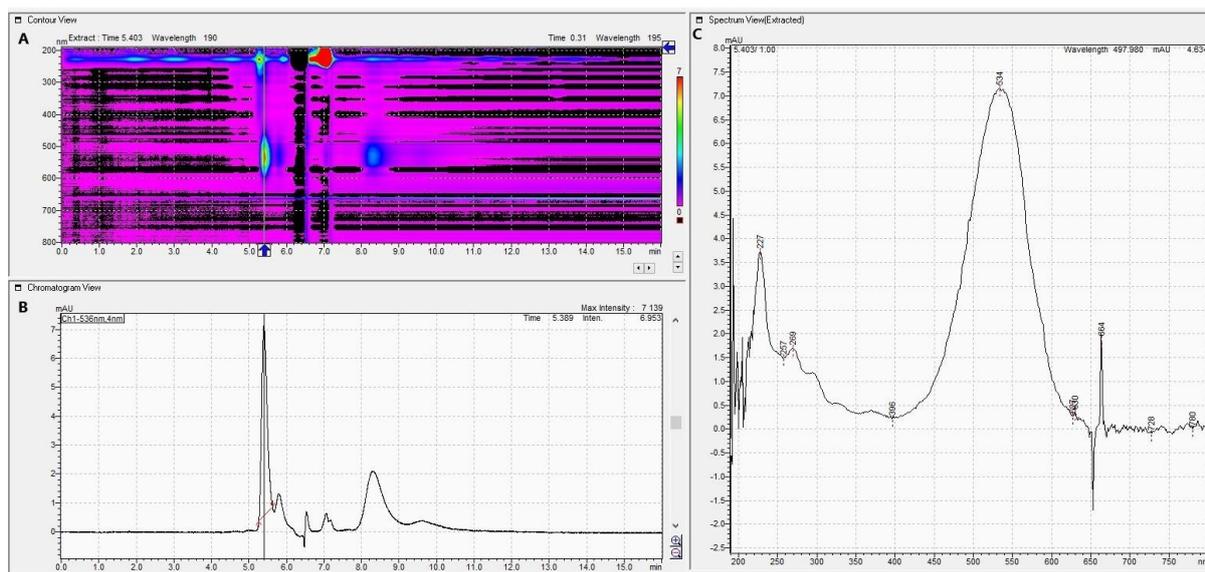
## 4.1.7 Cromatografía en columna.

Se realizó la separación de compuestos donde visiblemente solo aparecieron las betacianinas, en los colorantes extraídos de las cuatro variedades, esto debido a que dichos

colorantes se extrajeron utilizando únicamente la pulpa de cada variedad. En cambio, cuando se realizaron ensayos preliminares con pitahayas de diferentes clases y se trabajó con la cáscara, en la separación de compuestos aplicando la cromatografía en columna se observó la presencia de betacianinas y betaxantinas, estas últimas en menor cantidad (visualmente).

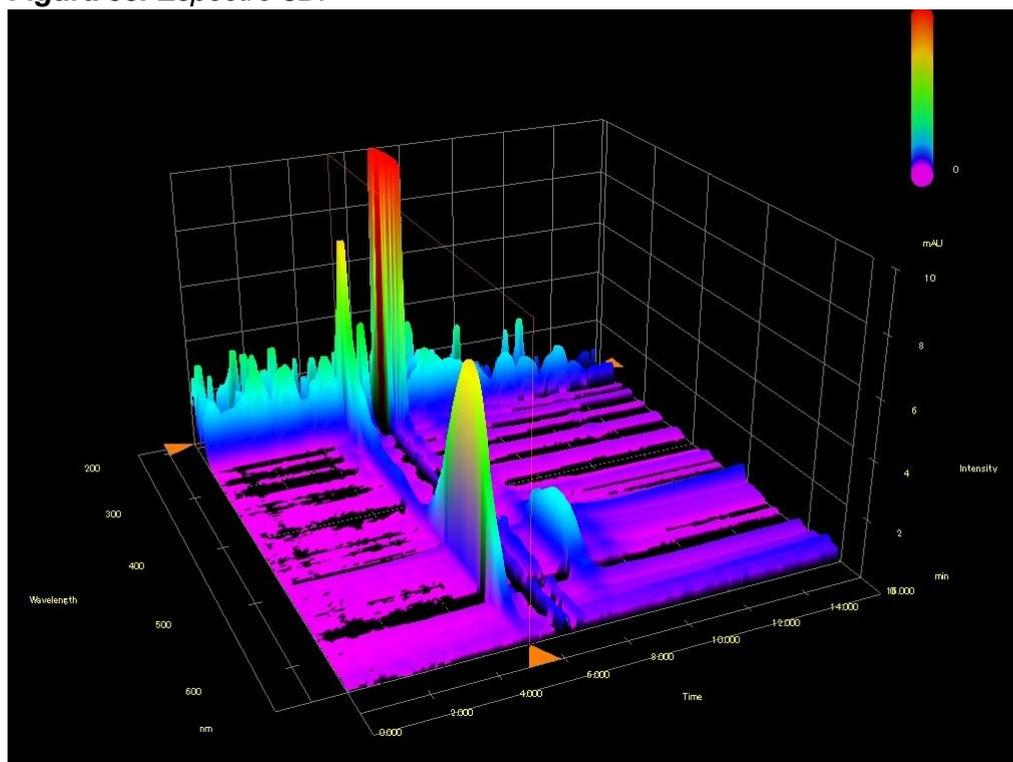
#### 4.1.8 Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector UV/VIS con arreglo de Diodos (HPLC-PDA)

**Figura 54.** Espectros variedad Orejona.



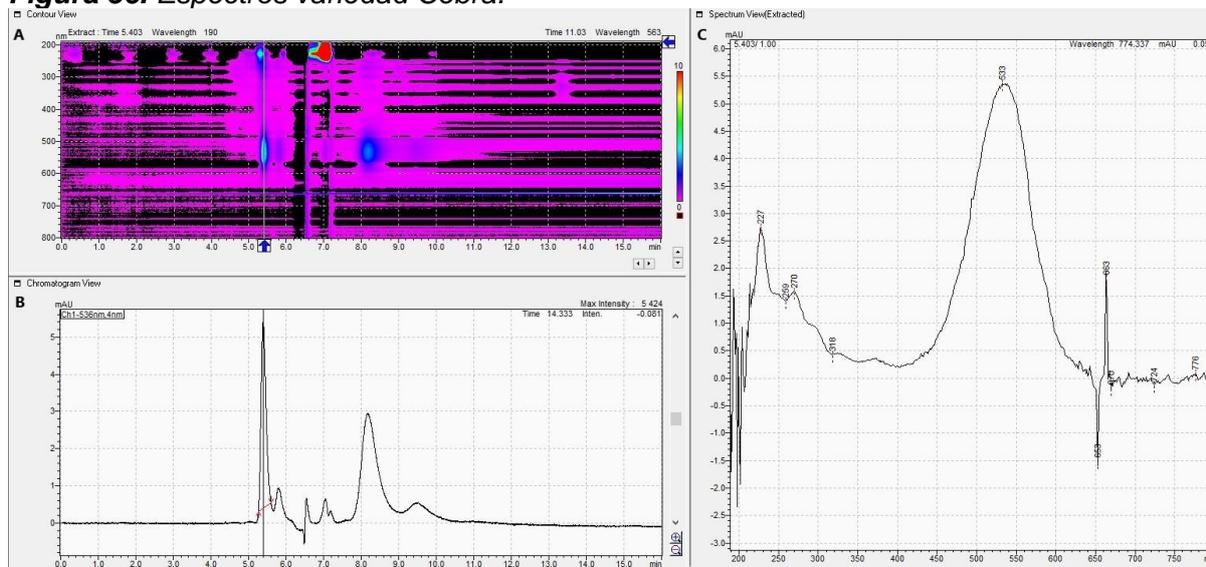
*Nota.* Imagen A: Cromatograma de contorno que muestra en forma transversal los compuestos que eluyen a diferentes tiempos de retención donde el color simboliza la intensidad de la señal que es proporcional a la concentración. Imagen B: Cromatograma en 2D que muestra los picos de elución con diferentes tiempos de retención a una longitud de onda fija de 536 nm, característica de la absorción de los grupos cromóforos presentes en las  $\beta$ -cianinas. Imagen C: Espectro UV/VIS del compuesto que presenta mayor intensidad en el pico de elución; la banda intensa de absorción en 536 nm es característica de las estructuras de las  $\beta$ -cianinas.

**Figura 55. Espectro 3D.**



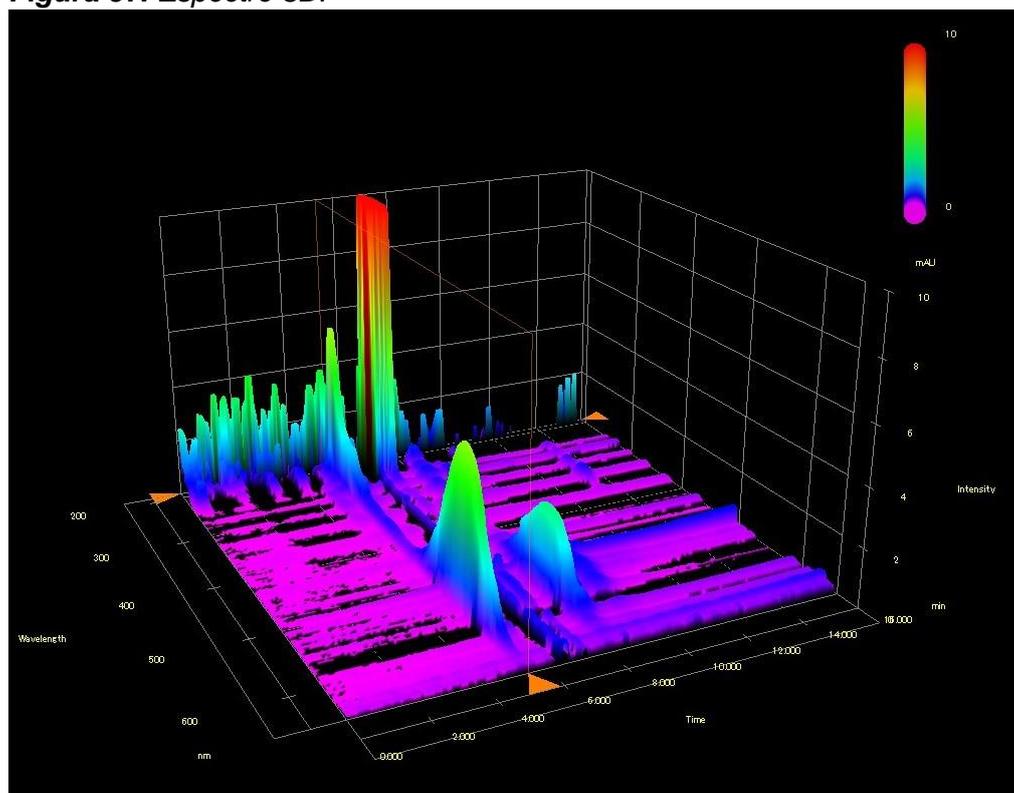
*Nota.* Representación en forma tridimensional los compuestos que eluyen a una longitud de 536 nm, correspondiente a la variedad Orejona.

**Figura 56. Espectros variedad Cebra.**



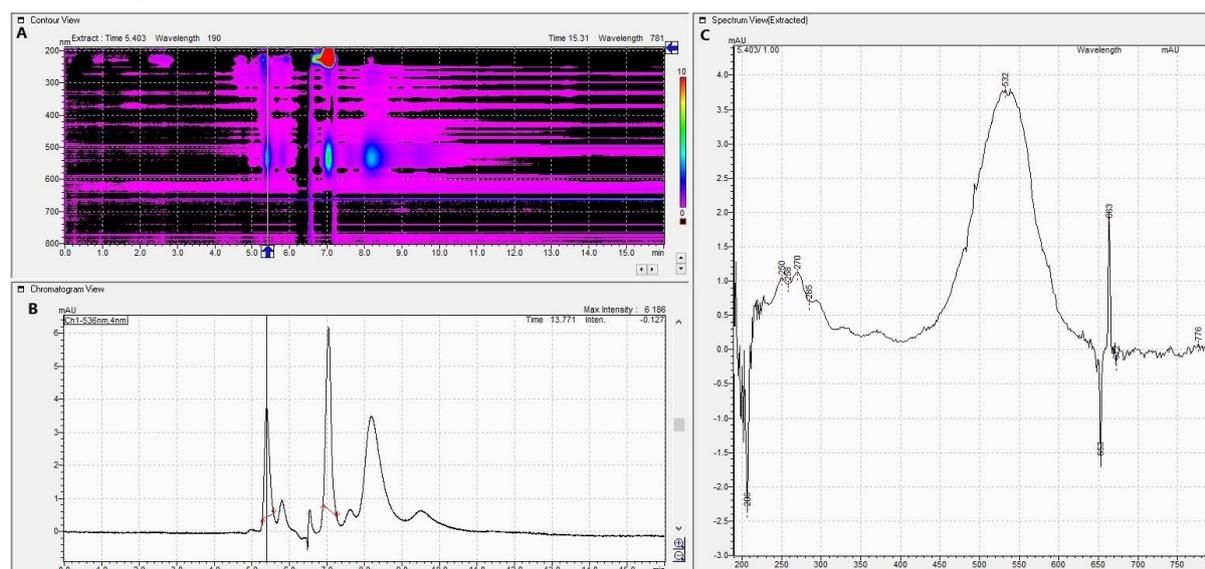
*Nota.* Imagen A: Cromatograma de contorno que muestra en forma transversal los compuestos que eluyen a diferentes tiempos de retención donde el color simboliza la intensidad de la señal que es proporcional a la concentración. Imagen B: Cromatograma en 2D que muestra los picos de elución con diferentes tiempos de retención a una longitud de onda fija de 536 nm, característica de la absorción de los grupos cromóforos presentes en las  $\beta$ -cianinas. Imagen C: Espectro UV/VIS del compuesto que presenta mayor intensidad en el pico de elución; la banda intensa de absorción en 536 nm es característica de las estructuras de las  $\beta$ -cianinas

**Figura 57. Espectro 3D.**



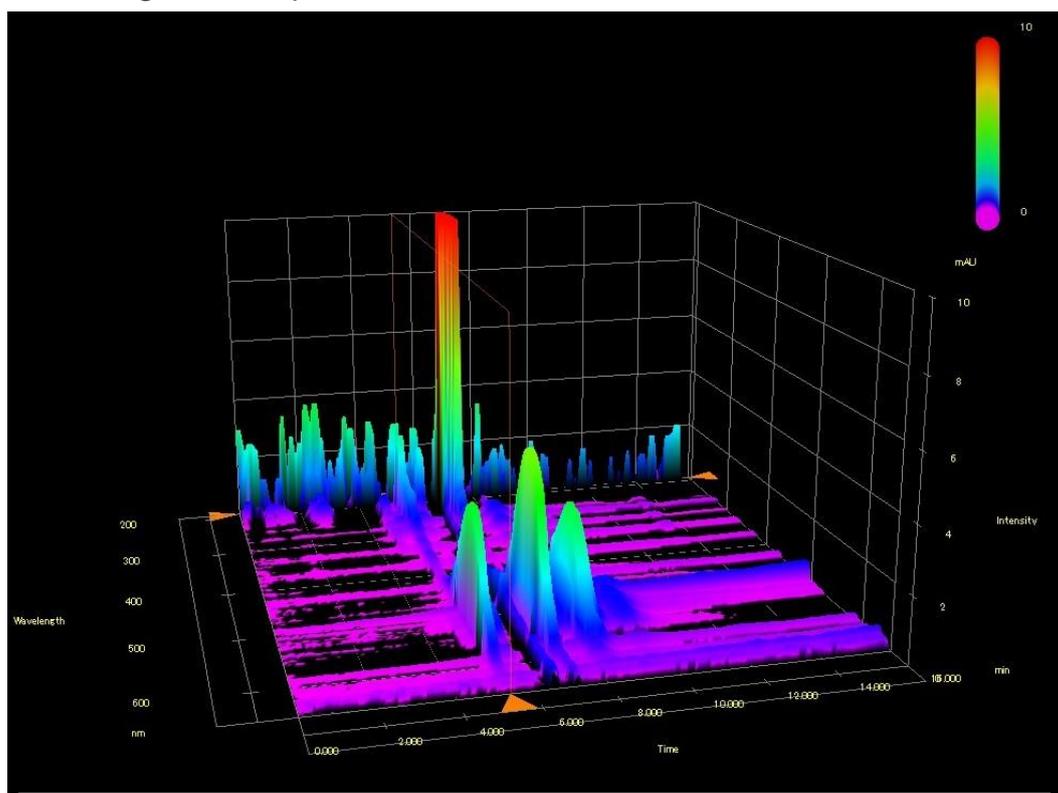
*Nota.* Representación en forma tridimensional los compuestos que eluyen a una longitud de 536 nm, correspondiente a la variedad Cebrá.

**Figura 58. Espectros variedad Lisa.**



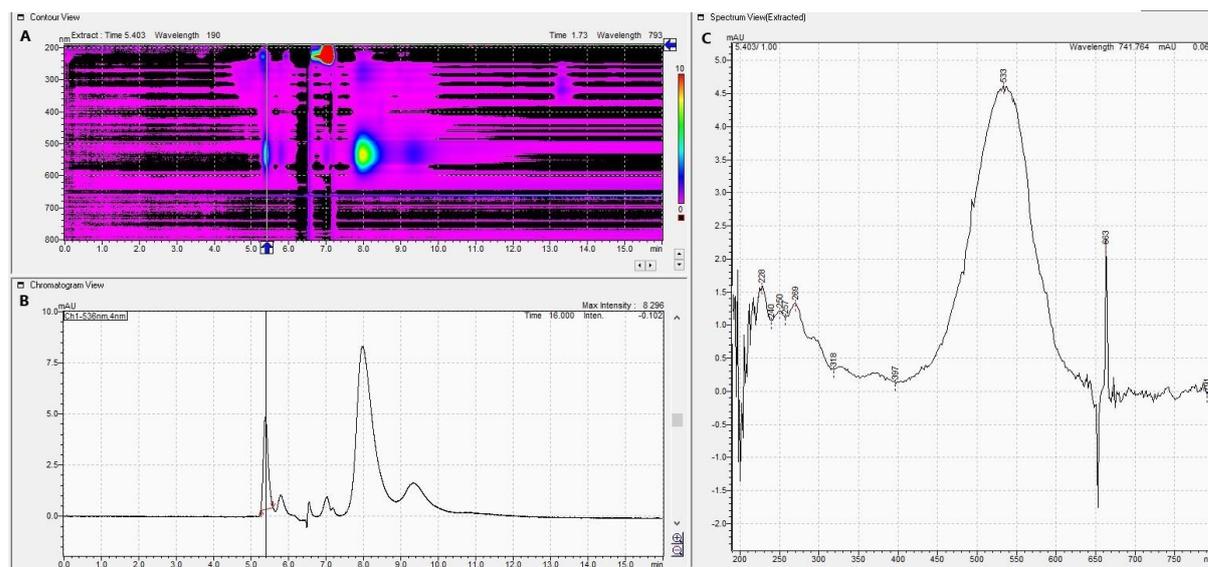
*Nota.* Imagen A: Cromatograma de contorno que muestra en forma transversal los compuestos que eluyen a diferentes tiempos de retención donde el color simboliza la intensidad de la señal que es proporcional a la concentración. Imagen B: Cromatograma en 2D que muestra los picos de elución con diferentes tiempos de retención a una longitud de onda fija de 536 nm, característica de la absorción de los grupos cromóforos presentes en las  $\beta$ -cianinas. Imagen C: Espectro UV/VIS del compuesto que presenta mayor intensidad en el pico de elución; la banda intensa de absorción en 536 nm es característica de las estructuras de las  $\beta$ -cianinas

**Figura 59. Espectro 3D.**



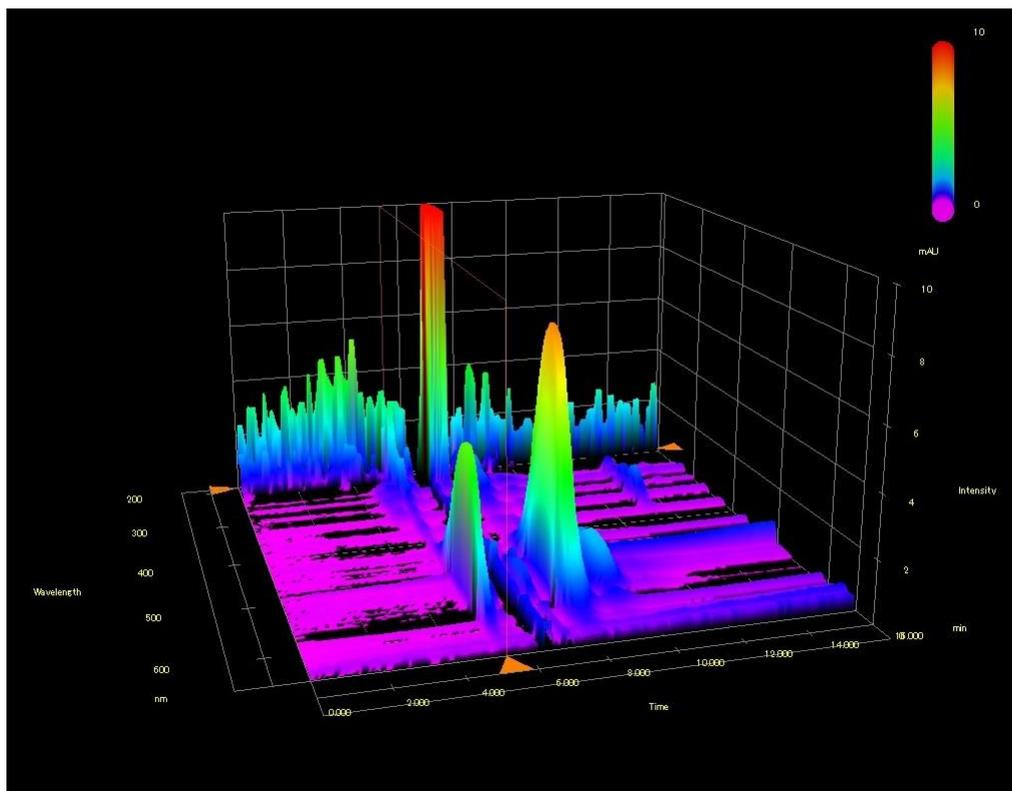
*Nota.* Representación en forma tridimensional los compuestos que eluyen a una longitud de 536 nm, correspondiente a la variedad Lisa.

**Figura 60. Espectros variedad Rosa.**



*Nota.* Imagen A: Cromatograma de contorno que muestra en forma transversal los compuestos que eluyen a diferentes tiempos de retención donde el color simboliza la intensidad de la señal que es proporcional a la concentración. Imagen B: Cromatograma en 2D que muestra los picos de elución con diferentes tiempos de retención a una longitud de onda fija de 536 nm, característica de la absorción de los grupos cromóforos presentes en las  $\beta$ -cianinas. Imagen C: Espectro UV/VIS del compuesto que presenta mayor intensidad en el pico de elución; la banda intensa de absorción en 536 nm es característica de las estructuras de las  $\beta$ -cianinas

**Figura 61.** Espectro 3D.



*Nota.* Representación en forma tridimensional los compuestos que eluyen a una longitud de 536 nm, correspondiente a la variedad Rosa.

4.1.9 Cuantificación de betacianinas mediante espectrofotometría UV-VIS.

**Tabla 6.** Valores para cuantificación.

<b>Código Muestra</b>	<b>Absorbancia (UA)</b>	<b>Pesos de muestra (g)</b>	<b>Volumen de dilución (l)</b>	<b>Constante de absorptividad molar (mol l/cm)</b>	<b>Ancho de celda (cm)</b>	<b>Peso molecular Betacianinas (g/mol)</b>	<b>Cantidad de betacianinas (B)(mg/g)</b>
<b>O1</b>	0.15	0.02094	0.05	60000	1	550	3.283190067
<b>O2</b>	0.154	0.0209	0.05	60000	1	550	3.377192982
<b>O3</b>	0.149	0.02068	0.05	60000	1	550	3.302304965
<b>Promedio</b>							3.320896005
<b>C1</b>	0.13	0.02012	0.05	60000	1	550	2.961398277
<b>C2</b>	0.132	0.02099	0.05	60000	1	550	2.882324917
<b>C3</b>	0.132	0.02067	0.05	60000	1	550	2.926947267
<b>Promedio</b>							2.92355682
<b>L1</b>	0.177	0.02008	0.05	60000	1	550	4.040089641
<b>L2</b>	0.166	0.02089	0.05	60000	1	550	3.642093506
<b>L3</b>	0.182	0.02099	0.05	60000	1	550	3.974114658
<b>Promedio</b>							3.885432602
<b>R1</b>	0.267	0.02068	0.05	60000	1	550	5.917553191
<b>R2</b>	0.271	0.02002	0.05	60000	1	550	6.204212454
<b>R3</b>	0.265	0.02042	0.05	60000	1	550	5.948008488
<b>Promedio</b>							6.023258045

Nota. Valores utilizados para obtener la cantidad aproximada de betacianinas presentes en cada variedad.

**Tabla 7.** Desviación estándar.

<b>Código de muestra</b>	<b>Desviación</b>
<b>O1</b>	3.28319007
<b>O2</b>	3.37719298
<b>O3</b>	3.30230497
<b>Promedio</b>	0.04968256
<b>C1</b>	2.96139828
<b>C2</b>	2.88232492
<b>C3</b>	2.92694727
<b>Promedio</b>	0.03964556
<b>L1</b>	4.04008964
<b>L2</b>	3.64209351
<b>L3</b>	3.97411466
<b>Promedio</b>	0.21330403
<b>R1</b>	5.91755319
<b>R2</b>	6.20421245
<b>R3</b>	5.94800849
<b>Promedio</b>	0.15744921

Nota. Datos de dispersión de distribución de datos.

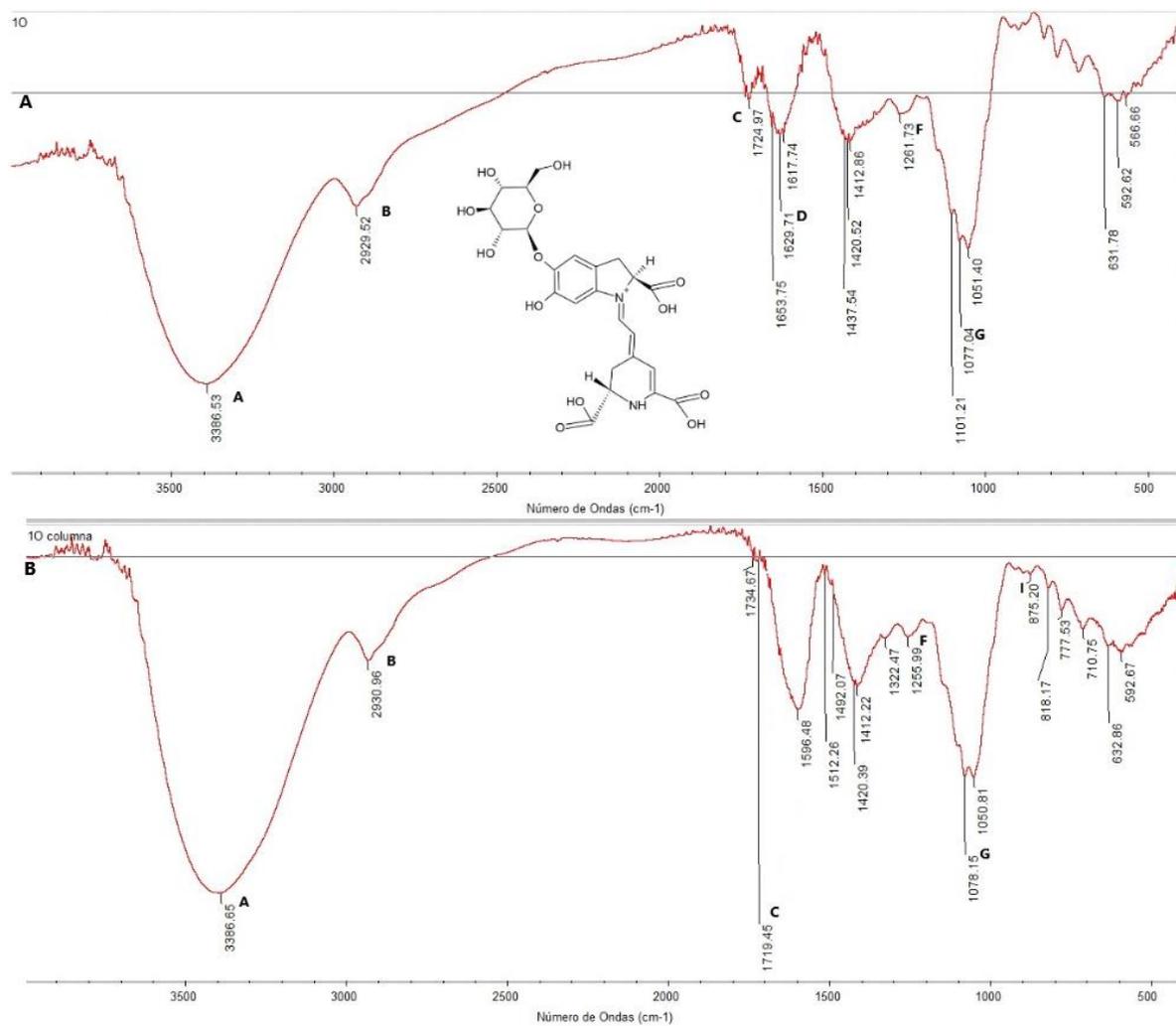
**Tabla 8.** Desviación estándar porcentual.

<b>Código de muestra</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desviación %</b>
<b>Orejona</b>	3.320896605	0.04968256	1.49605871
<b>Cebra</b>	2.92355682	0.03964556	1.35607284
<b>Lisa</b>	3.885432602	0.21330404	5.48984005
<b>Rosa</b>	6.023258045	0.15744921	2.61402073

Nota. Datos de dispersión de distribución de datos.

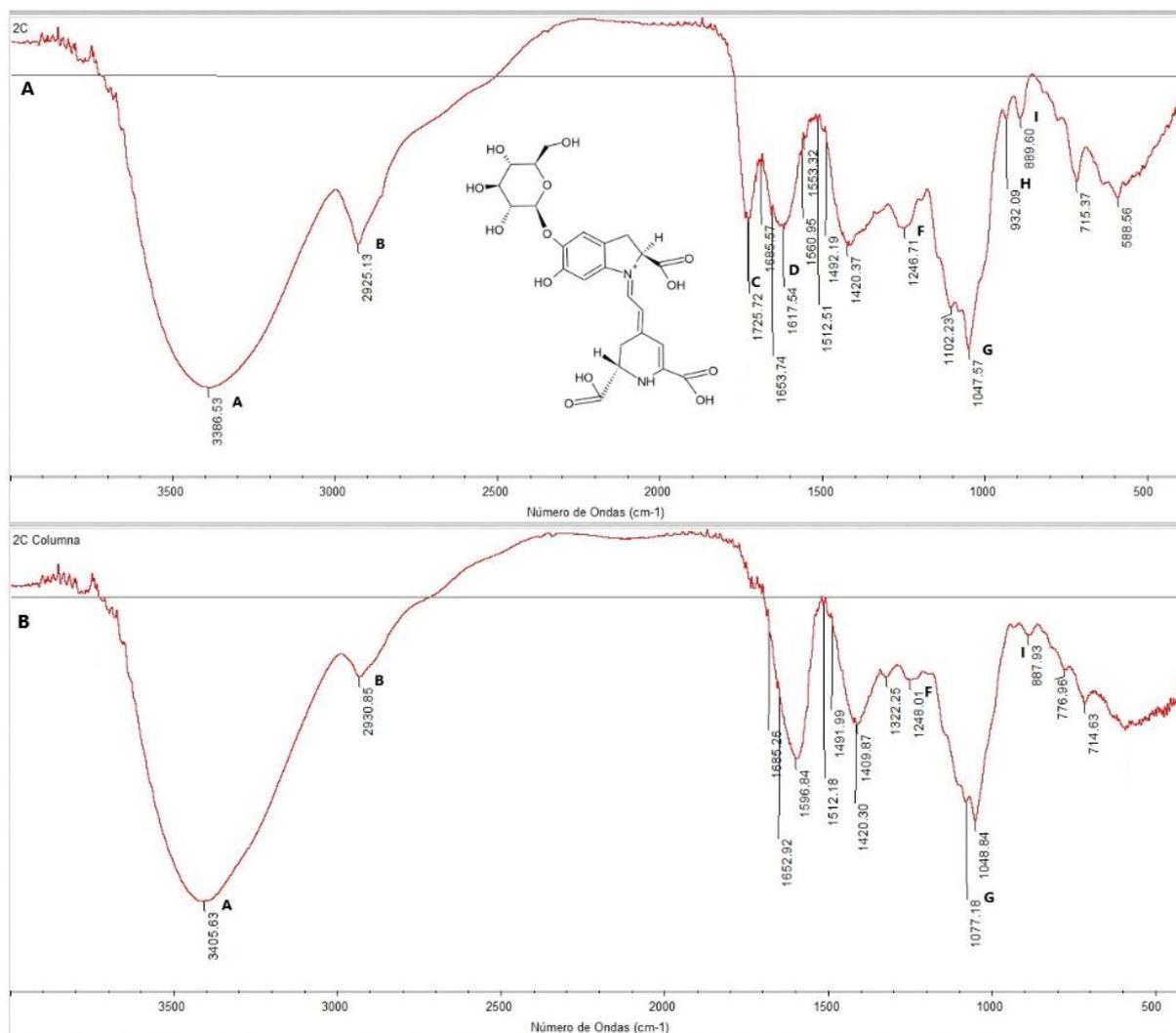
4.1.10 Análisis de grupos funcionales mediante la técnica de espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

**Figura 62.** Espectro de absorción UV-VIS variedad Orejona.



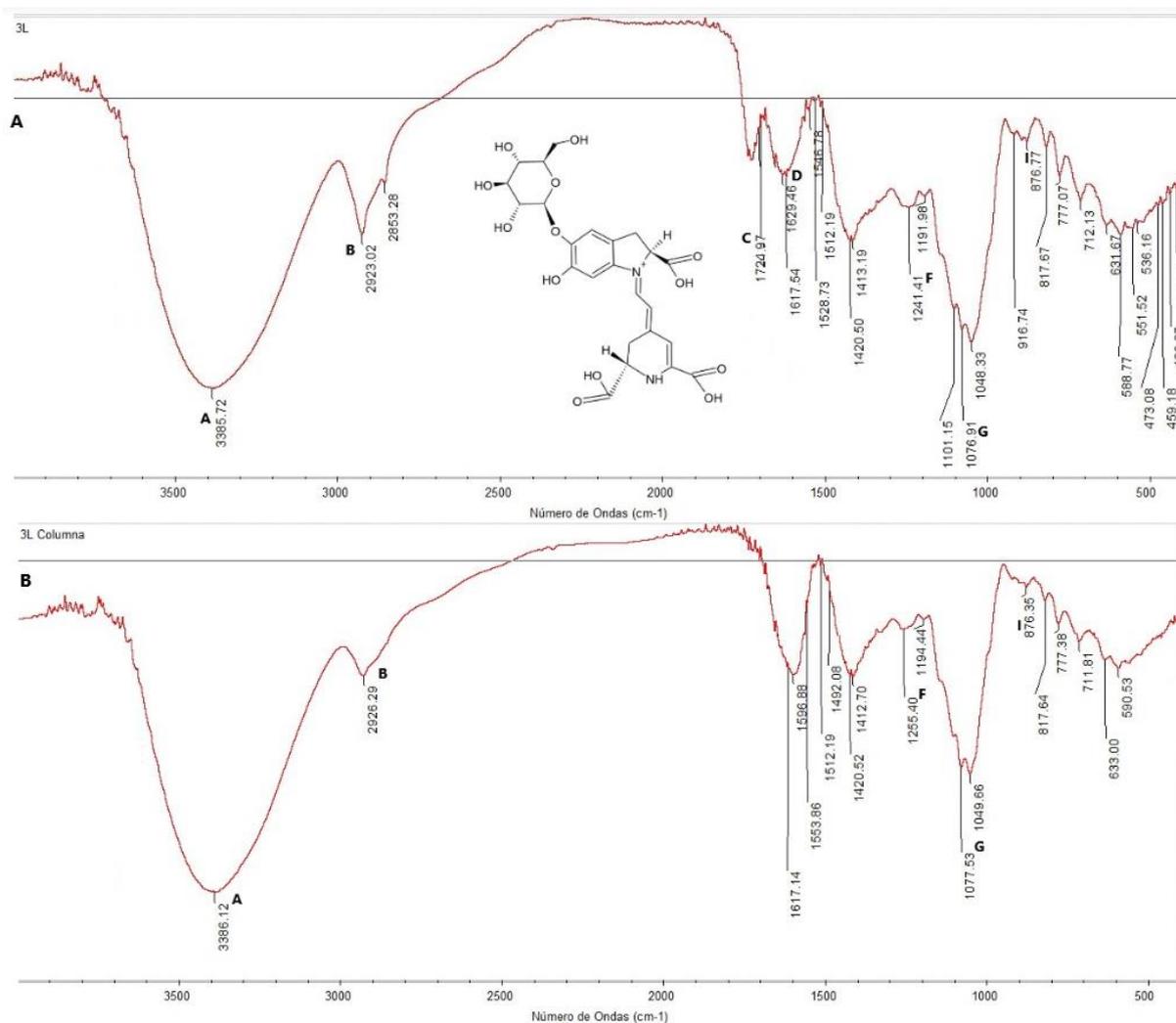
*Nota.* Espectro de la variedad Orejona.

**Figura 63.** Espectro de absorción UV-VIS variedad Cebrá.



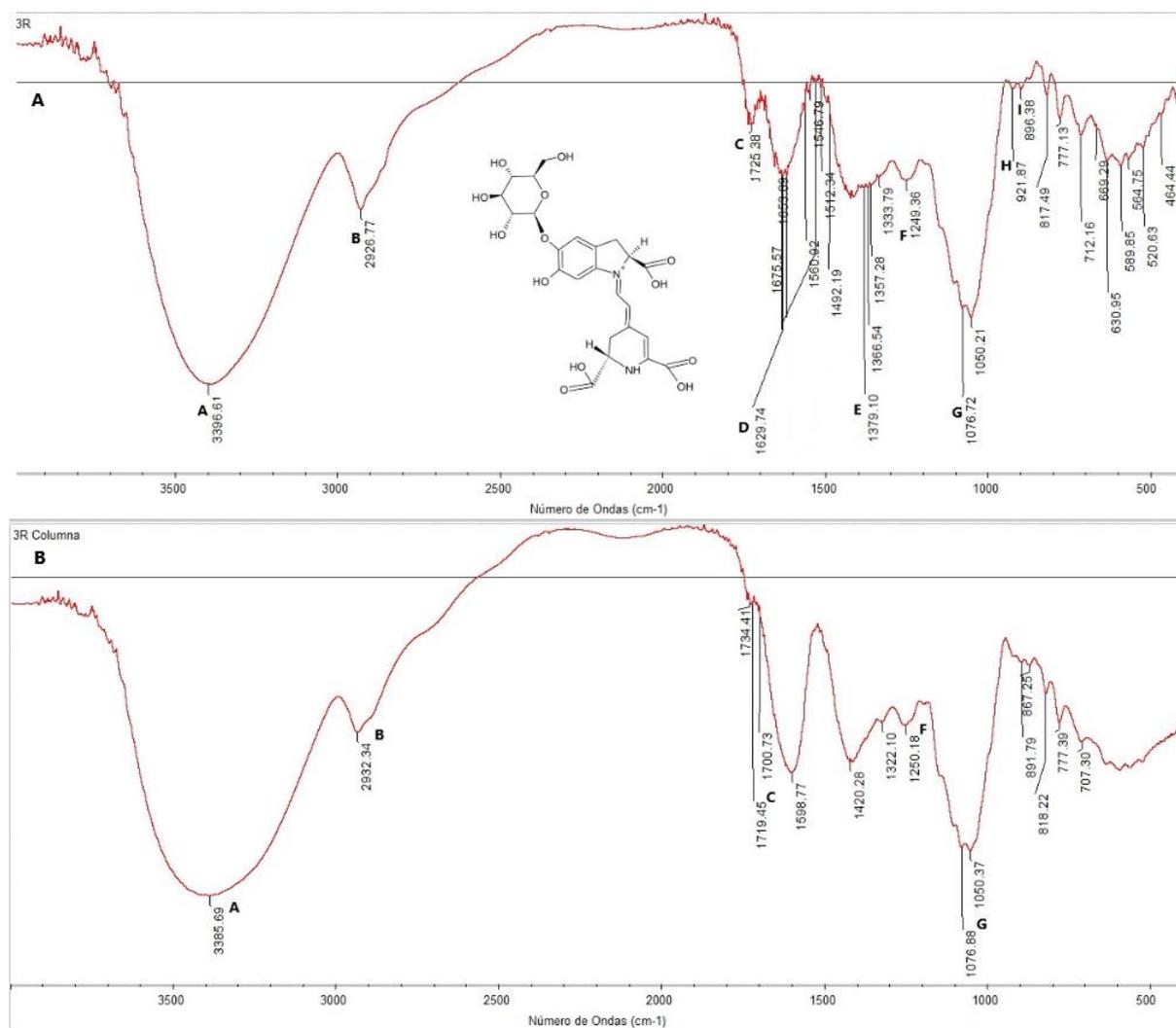
*Nota.* Espectro variedad Cebrá.

**Figura 64.** Espectro de absorción UV-VIS variedad Lisa.



*Nota.* Espectro variedad Lisa.

**Figura 65.** Espectro de absorción UV-VIS variedad Rosa.



Nota. Espectro variedad Rosa.

**Figura 66.** Cuadro interpretativo de las señales de onda de los espectros.

SEÑAL	Rango de número de onda (cm-1)	Molécula	Enlace
A	3385.69- 3405.63	O-H	HIDROXILO
B	2923.02- 2932.34	C-H=C-H	CARBONO HIDROGENO SATURADO Y VINÍLICO
C	1719.45- 1725.72	C=O	CARBONILO
D	1617.54- 1629.74	C=N	CARBONO NITROGENO DOBLE ENLACE
E	1379.10	C-H	CARBONO HIDROGENO
F	1246.71- 1261.73	C-O COOH	ENLACE SIMPLE CARBONO OXIGENO DEL CARBONILO
G	1047.57- 1078.15	C-O-C	CARBONO- OXIGENO- CARBONO
H	921.87- 932.09	C-H	CARBONO HIDROGENO
I	875.20- 896.38	C-COOH	CARBONO - CARBONO ALFA

*Nota. En la figura representa los compuestos de las estructuras correspondientes a las betacianinas.*

#### 4.1.11 Colorimetría.

Se realizaron 3 mediciones con un colorímetro midiendo según CIELAB

L (luminosidad)

a (profundidad)

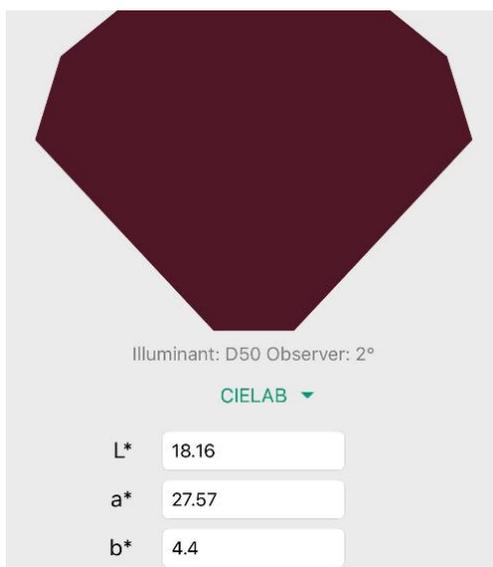
b (brillo)

**Tabla 9.** colorimetría variedad Orejona.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
L	20.23	16.12	18.15	18.16
A	34.57	20.05	28.09	27.57
B	5.65	2.76	4.79	4.4

Nota. Resultados de tomas de medición.

**Figura 67.** Nix Pro Color variedad Orejona.



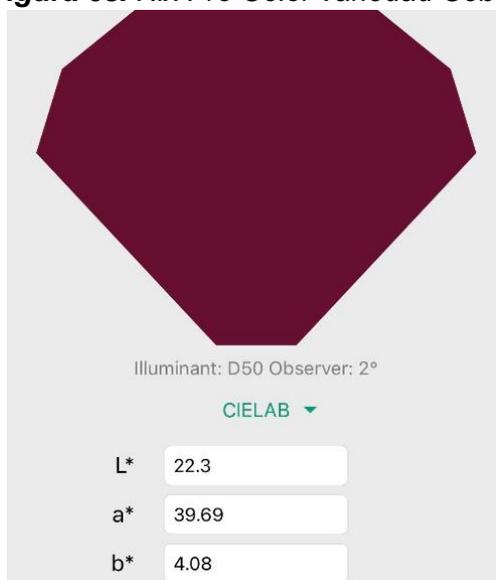
Nota. La figura representa el color de las tomas del colorímetro.

**Tabla 10.** colorimetría variedad Cebra.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
<b>L</b>	23.01	22.8	21.09	22.3
<b>A</b>	41.9	41.07	36.11	39.693
<b>B</b>	3.5	3.91	4.85	4.08

Nota. Resultados de tomas de medición.

**Figura 68.** Nix Pro Color variedad Cebra.

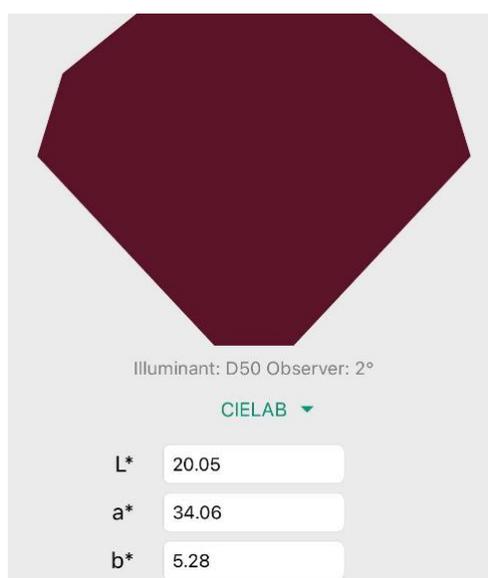


Nota. La figura representa el color de las tomas del colorímetro.

**Tabla 11.** colorimetría variedad Lisa.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
<b>L</b>	17.85	20.91	21.39	20.05
<b>A</b>	26.97	36.87	38.34	34.06
<b>B</b>	4.59	5.69	5.57	5.28

*Nota. Resultados de tomas de medición.*

**Figura 69.** Nix Pro Color variedad Lisa.

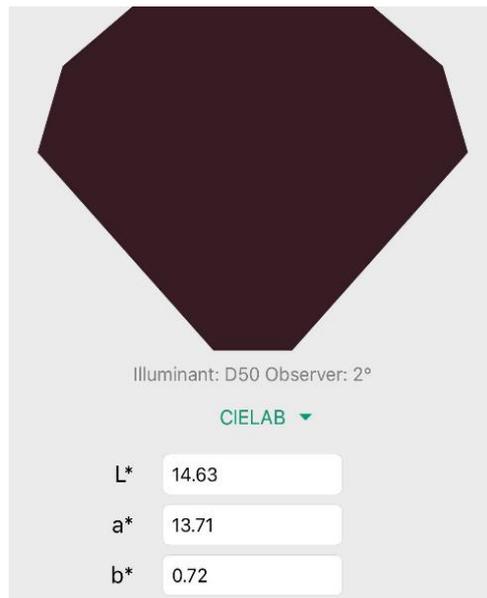
*Nota. La figura representa el color de las tomas del colorímetro.*

**Tabla 12.** colorimetría variedad Rosa.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
<b>L</b>	14.98	14.98	13.95	14.63
<b>A</b>	14.98	15.82	10.35	13.71
<b>B</b>	1.06	0.97	0.14	0.72

*Nota. Resultado de toma de medición.*

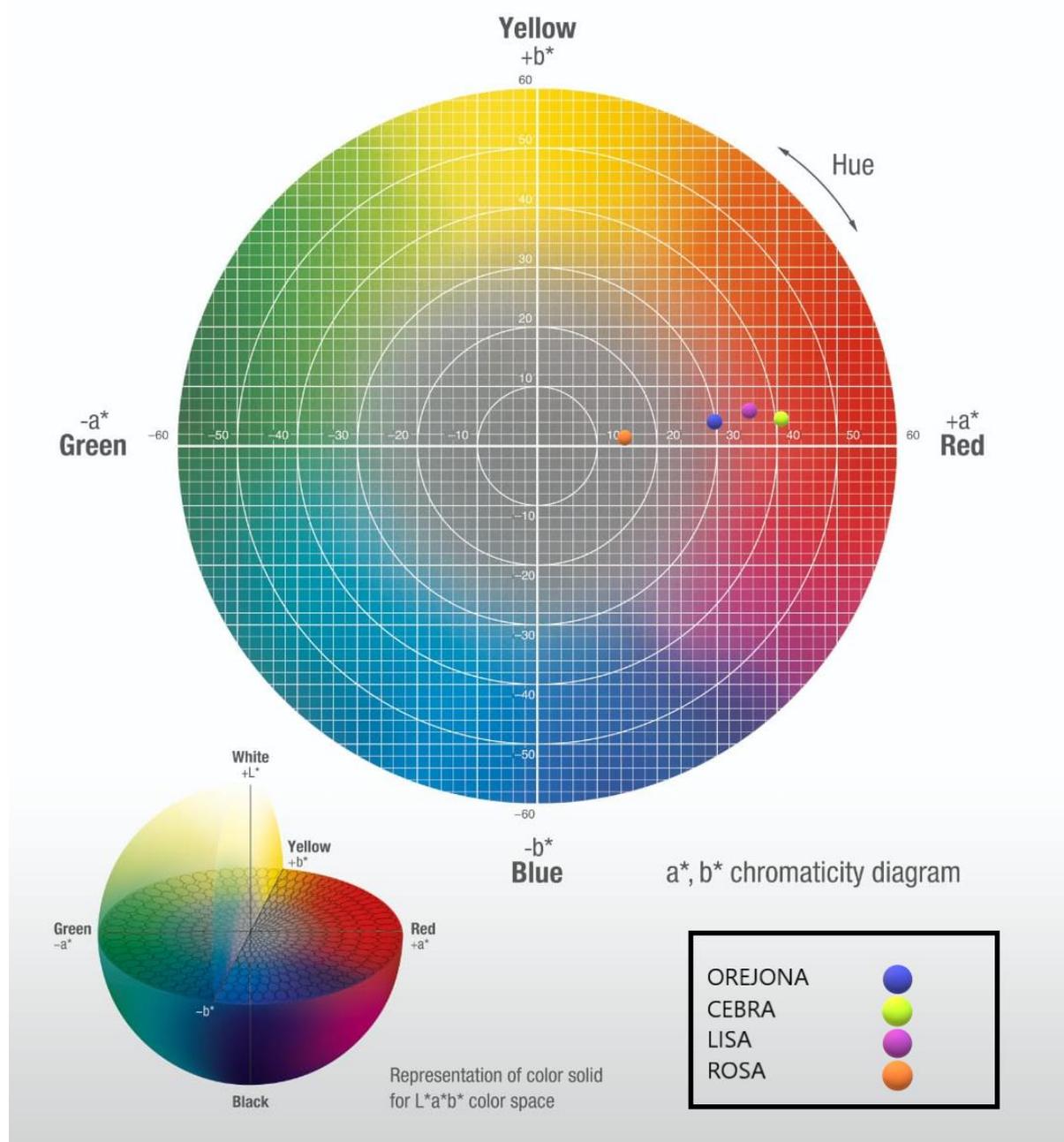
**Figura 70.** Nix Pro Color variedad Rosa.



*Nota.* La figura representa el color de las tomas del colorímetro.

Las coordenadas obtenidas con el colorímetro fueron graficadas en el espacio de color CIELAB obteniéndose los siguientes resultados:

**Figura 71.** Gráfica de color CIELAB.



*Nota.* La figura representa las coordenadas de  $a$  y  $b$  obtenidas con el colorímetro para las cuatro variedades de pitahaya, graficadas en el espacio de color CIELAB. Fuente: Konica Minolta, 2020.

El resultado de la representación gráfica de las coordenadas  $a$  y  $b$  obtenidas para las cuatro variedades analizadas, evidencia que las variedades de pitahaya Orejona, Cebra, Lisa y Rosa tienden más al color rojo, con la diferencia que la variedad Rosa tiene mayor

saturación. Todas las variedades presentaron valores de luminosidad (L) que dentro del espacio de color CIELAB corresponden a tonos oscuros.

#### 4.1.12 Elaboración de helado con adición de colorante PLE25M

A continuación, se presentan los valores obtenidos en los análisis correspondientes a las pruebas de aplicación realizadas en helado y yogur.

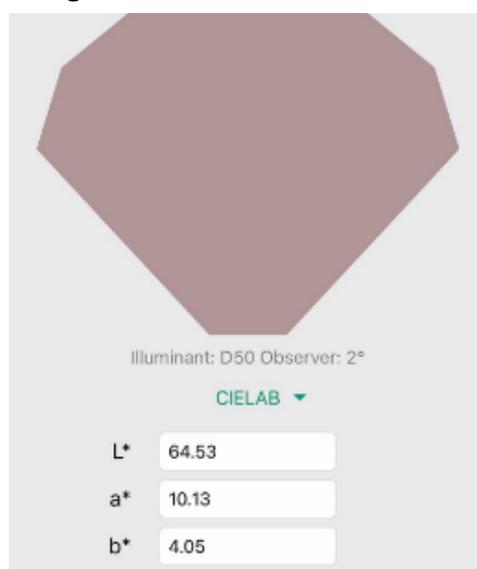
- Se elaboraron 2 litros de helado, se utilizó saborizante de algodón de azúcar y se agregaron 12 ml de colorante líquido PLE25M al final.
- pH: 6.352.

**Tabla 13.** Colorimetría de Helado.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
L	64.36	64.65	64.59	64.53
A	10.05	10.46	9.88	10.13
B	4.05	4.14	3.93	4.04

Nota. Resultado de medición de colorímetro.

**Figura 72.** Nix Pro Color Helado.



Nota. La figura representa el color de las tomas del colorímetro.

#### 4.1.13 Elaboración de helado con adición de colorante PSCS2J

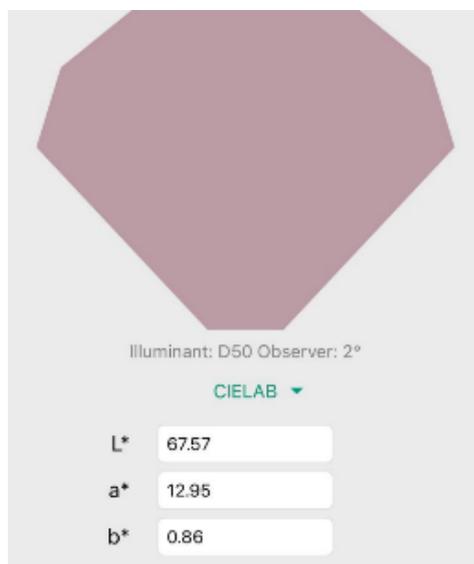
- Se elaboró 1 litro de helado, se utilizó saborizante de cereza y se agregaron 6 ml de colorante líquido de pulpa PSCS2J al final.
- pH: 6.360

**Tabla 14.** Colorimetría de helado.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
<b>L</b>	66.99	67.76	67.98	67.57
<b>a</b>	12.56	13.11	13.19	12.95
<b>B</b>	0.71	0.89	0.98	0.86

Nota. Resultado de medición de colorímetro.

**Figura 73.** Nix Pro Color Helado.



Nota. Resultado del colorímetro.

#### 4.1.14 Elaboración de yogur con adición de colorante PSCS2J

- Se elaboró 1 litro de yogur y se agregaron 0.33 gramos de colorante liofilizado (PSCS2J) al final del proceso de elaboración del producto.
- pH: 4.681

**Tabla 15.** Colorimetría de Yogur.

Parámetro	Primera	Segunda	Tercera	Promedio
<b>L</b>	73.90	74.38	74.49	74.25
<b>a</b>	12.88	12.47	12.42	12.59
<b>b</b>	0.80	0.83	0.82	0.81

Nota. Resultado de medición de colorímetro.

**Figura 74.** Nix Pro Color Yogur.

Nota. Resultado del colorímetro.

## 4.1.15 Análisis sensorial.

**Análisis de frecuencias**

A continuación, se presentan los datos generados por el software estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS), para el análisis de frecuencias de los datos obtenidos en el análisis sensorial realizado en aplicaciones de los colorantes obtenidos de pitahaya.

**Tabla 16.** Datos estadísticos categorizados como válidos por el software.

Estadísticos		Sexo	Edad	¿Fuma?	¿Consume alcohol?	¿Consume café?	Muestra A apariciencia
N	Válido	5	5	5	5	5	5
	Perdidos	0	0	0	0	0	0

*Nota.* Datos tomados por el software para el análisis de frecuencias.

Los datos de sexo, edad, hábito de fumar, consumo de alcohol, consumo de café, resultados de muestra (A, B o C) en cuanto a apariencia, color, olor, textura o sabor; fueron tomados como datos base para el análisis completo de frecuencias.

**Tabla 17.** Datos estadísticos categorizados como válidos por el software.

Estadísticos		MUESTRA A COLOR	MUESTRA A OLOR	MUESTRA A TEXTURA	MUESTRA A SABOR
N	Válido	5	5	5	5
	Perdidos	0	0	0	0

*Nota.* Datos tomados por el software para el análisis de frecuencias. La presente tabla es la continuación de la tabla anterior.

### Tablas de frecuencia y gráficos correspondientes al análisis sensorial

**Tabla 18.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación de sexo.

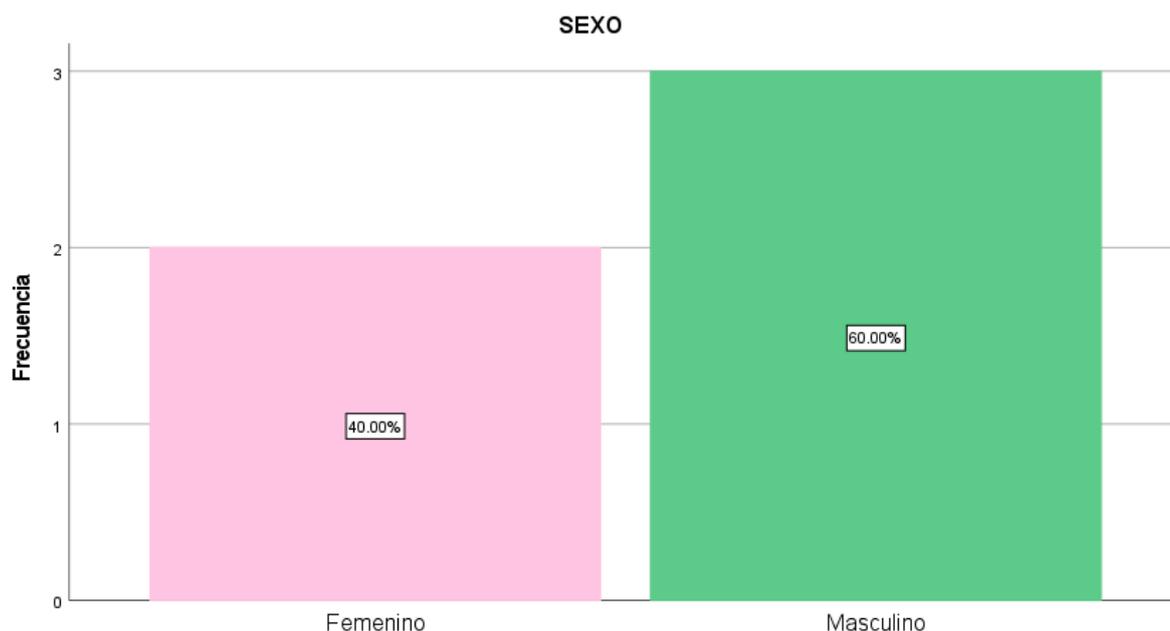
#### SEXO

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	FEMENINO	2	40.0	40.0	40.0
	MASCULINO	3	60.0	60.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla muestra que porcentaje de los 5 participantes eran del sexo femenino y que porcentaje del masculino.

Los resultados reflejan que de 5 personas que participaron 2 eran del sexo femenino y 3 del masculino. En términos porcentuales, 40% fueron mujeres y 60% hombres.

**Gráfico 1.** Representación gráfica del porcentaje de participantes según sexo.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 17.

La población de panelistas se encuentra compuesta en su mayoría por hombres, con un 60% del total de panelistas, mientras que la población femenina cuenta con un 40% de participación, destacándose una diferencia mínima en el rango de participación según sexo.

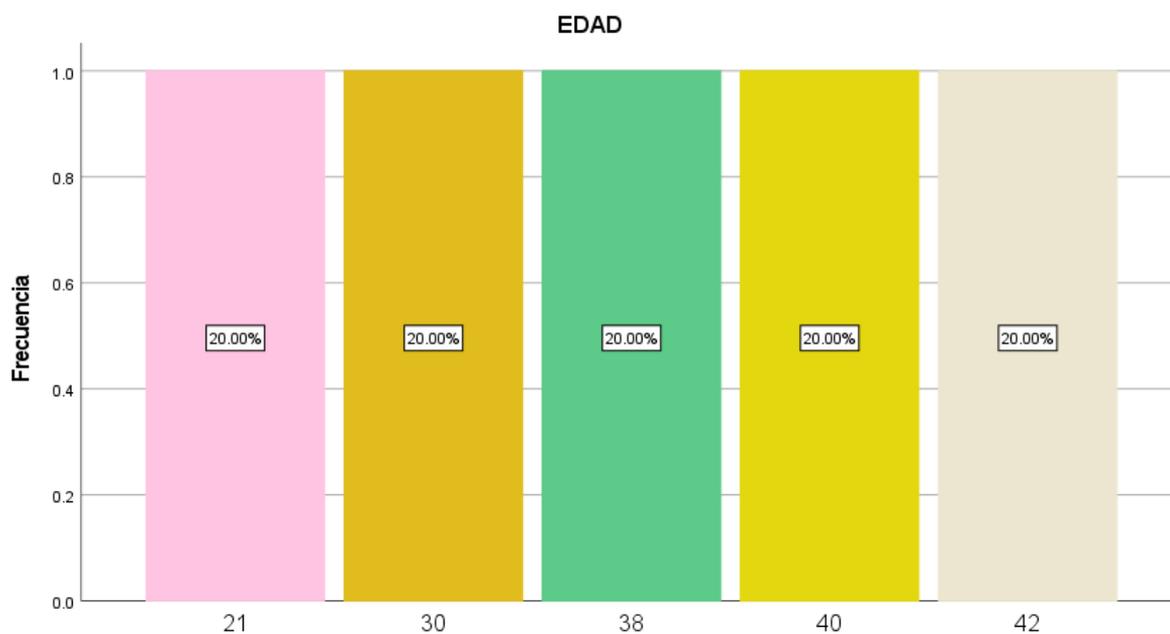
**Tabla 19.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación de edad.

EDAD		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	21	1	20.0	20.0	20.0
	30	1	20.0	20.0	40.0
	38	1	20.0	20.0	60.0
	40	1	20.0	20.0	80.0
	52	1	20.0	20.0	100.0
Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla muestra la variación en edad de los panelistas.

Los resultados reflejan que de 5 personas que participaron, se obtuvieron datos de edad diferentes. En términos porcentuales, 20% tenía 21 años, 20% tenía 30 años, 20% tenía 38 años, 20% tenía 40 años y 20% tenía 52 años.

**Gráfico 2.** Porcentaje de participantes según su edad.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 18.

En general se observa un rango amplio de edad entre los participantes. Con una brecha de 21 años entre el panelista de menor edad y el de mayor edad. Además, se observa un 20% de representación para cada edad establecida en el gráfico, ya que no se estipularon rangos de edad específicos en el instrumento utilizado, esto debido a la pequeña cantidad de participantes.

**Tabla 20.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista fuma o no.

**¿FUMA?**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	NO	5	100.0	100.0	100.0

*Nota.* La tabla muestra qué porcentaje de los 5 participantes fumaban o no fumaban.

Los resultados reflejan que de 5 personas que participaron, el 100% no fuma.

**Tabla 21.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista consume o no alcohol.

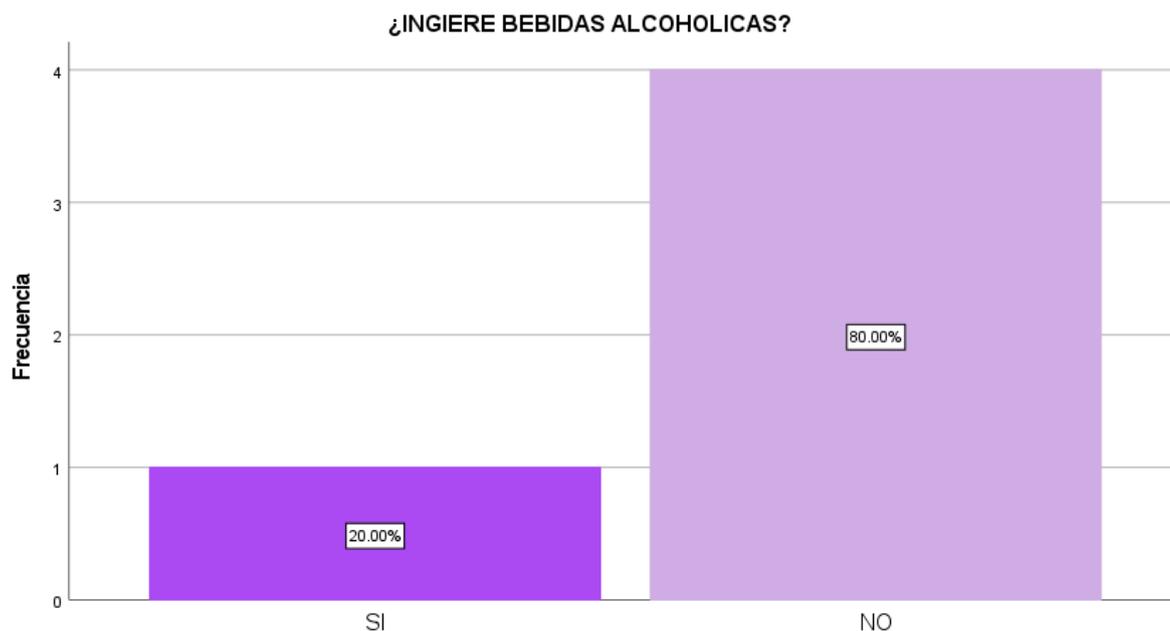
**¿CONSUME ALCOHOL?**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válid	SI	1	20.0	20.0	20.0
o	NO	4	80.0	80.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla muestra qué porcentaje de los 5 participantes consumían o no alcohol.

En este caso de cada uno de los 5 participantes uno consumía alcohol y cuatro no. Lo cual es favorable, ya que demuestra que la mayoría de los panelistas tenían la posibilidad de poseer una mejor percepción organoléptica, que ayudaría a su vez a obtener mejores resultados.

**Gráfico 3.** *Porcentaje de participantes que consumen o no alcohol.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 20.

De los 5 participantes el 20% consume alcohol y el 60% no lo consume. Existe un solo un pequeño porcentaje de los panelistas que consumían alcohol, lo que demuestra que existía la posibilidad de que los análisis realizados en cuanto a los atributos evaluados de cada alimento obtuvieran respuestas más confiables.

**Tabla 22.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica si el panelista consume o no café.

### ¿CONSUME CAFÉ?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	5	100.0	100.0	100.0
	o				

*Nota.* La tabla muestra qué porcentaje de los 5 participantes consumían o no café.

Del total de participantes, el 100% consume café.

### Resultados obtenidos en la evaluación sensorial de la muestra A.

**Tabla 23.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra A.

### MUESTRA A APARIENCIA

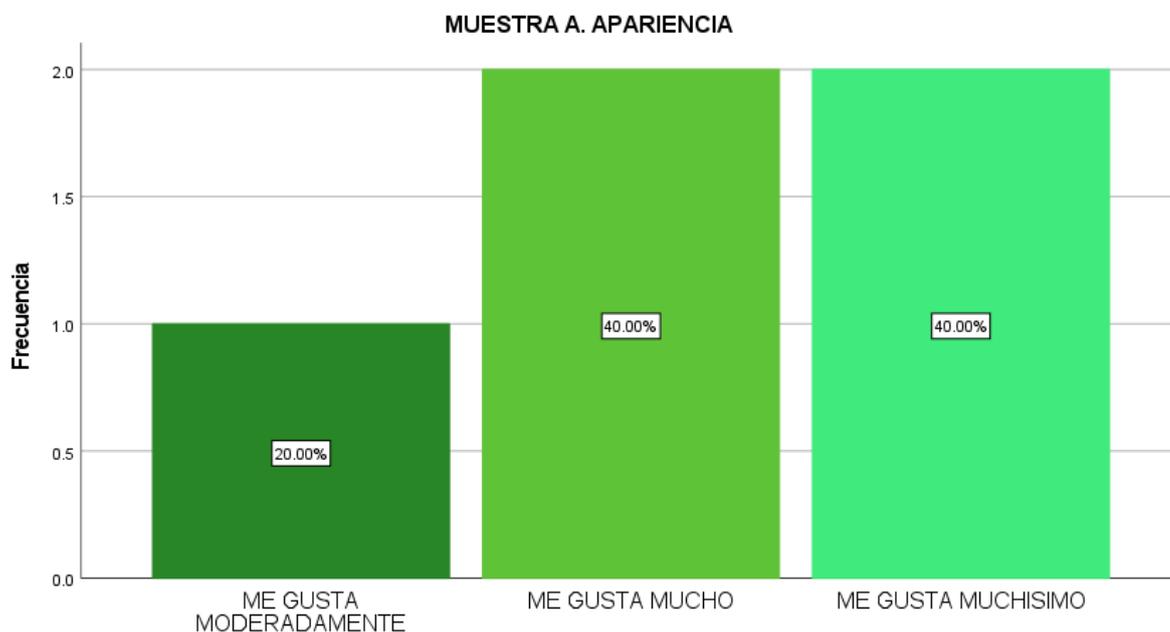
			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE		1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO		2	40.0	40.0	60.0
	ME GUSTA MUCHISIMO		2	40.0	40.0	100.0
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra A, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una le gustó moderadamente la apariencia de la muestra A, a dos les gustó mucho y a dos les gustó muchísimo. Esto evidenció que hubo una buena aceptación de la muestra A en cuanto a este

atributo, siendo las opciones de me gusta mucho y me gusta muchísimo seleccionadas con más frecuencia.

**Gráfico 4.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su apariencia.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 22.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó moderadamente la apariencia de la muestra A, al 40% les gustó mucho y al 40% les gustó muchísimo. Dicha gráfica también detalla la frecuencia con la que se obtuvieron cada una de las respuestas seleccionadas, demostrando de manera conjunta con el porcentaje, que no hubo una calificación de preferencia en cuanto a la apariencia de la muestra A, ya que las opciones de me gusta mucho y me gusta muchísimo fueron elegidas con la misma frecuencia (2.0), obteniendo a la vez, el mismo porcentaje (40%).

**Tabla 24.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra A.

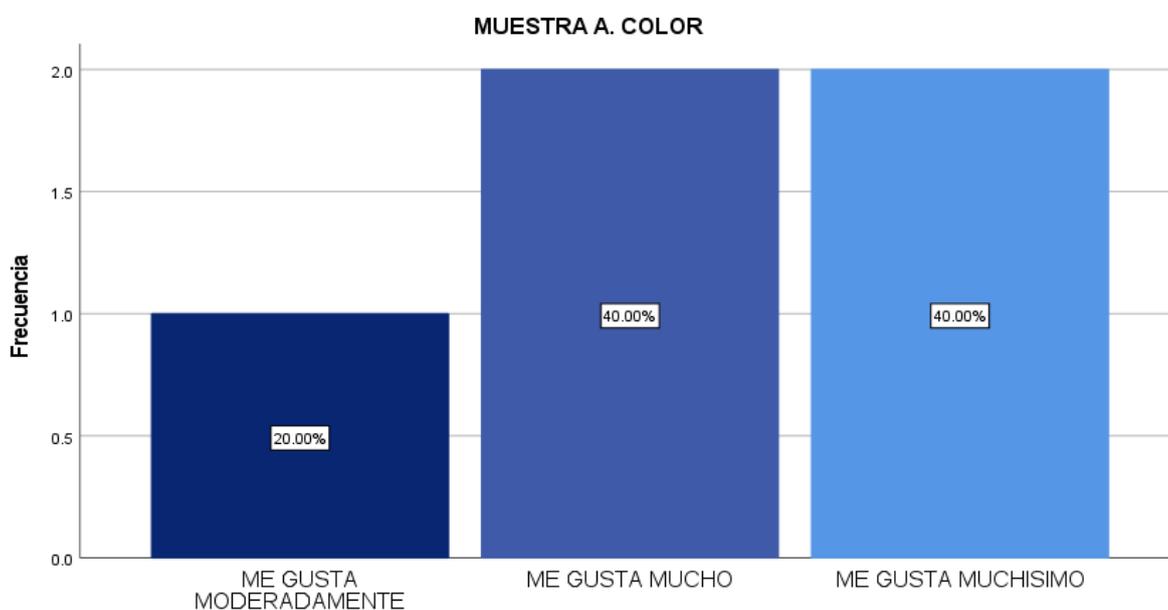
### MUESTRA A COLOR

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE		1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO		2	40.0	40.0	60.0
	ME GUSTA MUCHISIMO		2	40.0	40.0	100.0
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del color de la muestra A, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior establecen que, de cada 5 personas, a una le gustó moderadamente el color de la muestra A, a dos les gustó mucho y a dos les gustó muchísimo. Esto demuestra que hubo una buena aceptación de este atributo para la muestra A, pero que no se obtuvo una respuesta en la cual la mayoría concordara.

**Gráfico 5.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su color.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 23.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó moderadamente el color de la muestra A, al 40% les gustó mucho y al 40% les gustó muchísimo. Dicha gráfica también indica que las opciones que tuvieron una frecuencia más elevada de elección fueron las de me gusta mucho y me gusta muchísimo, con una frecuencia de 2.0 para cada una.

**Tabla 25.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra A.

### MUESTRA A OLOR

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	NI ME GUSTA, NI ME DISGUSTA	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO	3	60.0	60.0	80.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	1	20.0	20.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del olor de la muestra A, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una no le gustó, ni le disgustó el olor de la muestra A, a tres les gustó mucho y a una le gustó muchísimo. A diferencia de los tres primeros atributos evaluados, este obtuvo un menor margen de aceptación, ya que esta vez se registró una mayor frecuencia (3.0) y porcentaje (60%) para una opción, siendo esta la de me gusta mucho.

**Gráfico 6.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su olor.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 24.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes ni les gustó, ni les disgustó el olor de la muestra A, al 60% les gustó mucho y al 20% les gustó muchísimo. En general, se obtuvo una buena aceptación de este atributo, pero evidentemente es menor en comparación a los atributos de apariencia y color detallados en los gráficos anteriores.

**Tabla 26.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra A.

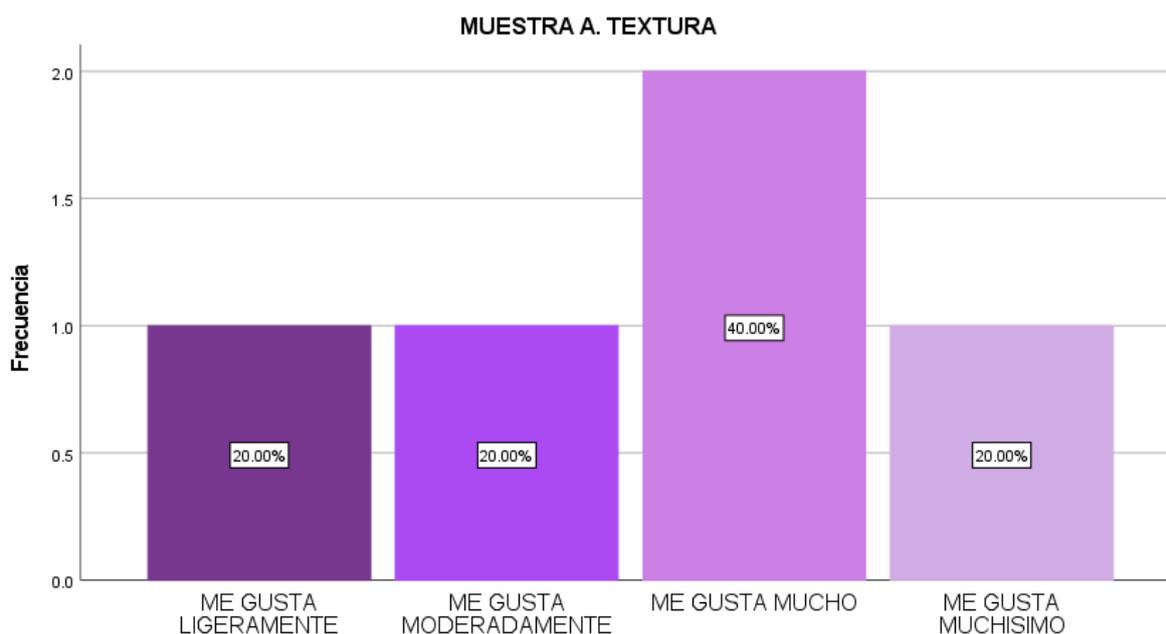
#### MUESTRA A TEXTURA

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA LIGERAMENTE	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MODERADAMENTE	1	20.0	20.0	40.0
	ME GUSTA MUCHO	2	40.0	40.0	80.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	1	20.0	20.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la textura de la muestra A, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una le gustó ligeramente la textura de la muestra A, a una le gustó moderadamente, a dos les gustó mucho y a uno le gustó muchísimo. A diferencia de los resultados de otros atributos de la muestra A, la textura tuvo una variación notable en calificación de acuerdo a los panelistas, pero se considera que de igual manera tuvo un buen nivel de aceptación.

**Gráfico 7.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su textura.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 25.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó ligeramente la textura de la muestra A, al 20% les gustó moderadamente, al 40% les gustó mucho y al 20% les gustó muchísimo. Dicho gráfico a la vez permite observar que tres de las valoraciones otorgadas para evaluar la textura, coincidieron en la misma frecuencia (1.0), siendo estas: me gusta ligeramente, me gusta moderadamente y me gusta muchísimo, mientras que me gusta mucho presentó una mayor frecuencia (2.0).

**Tabla 27.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra A.

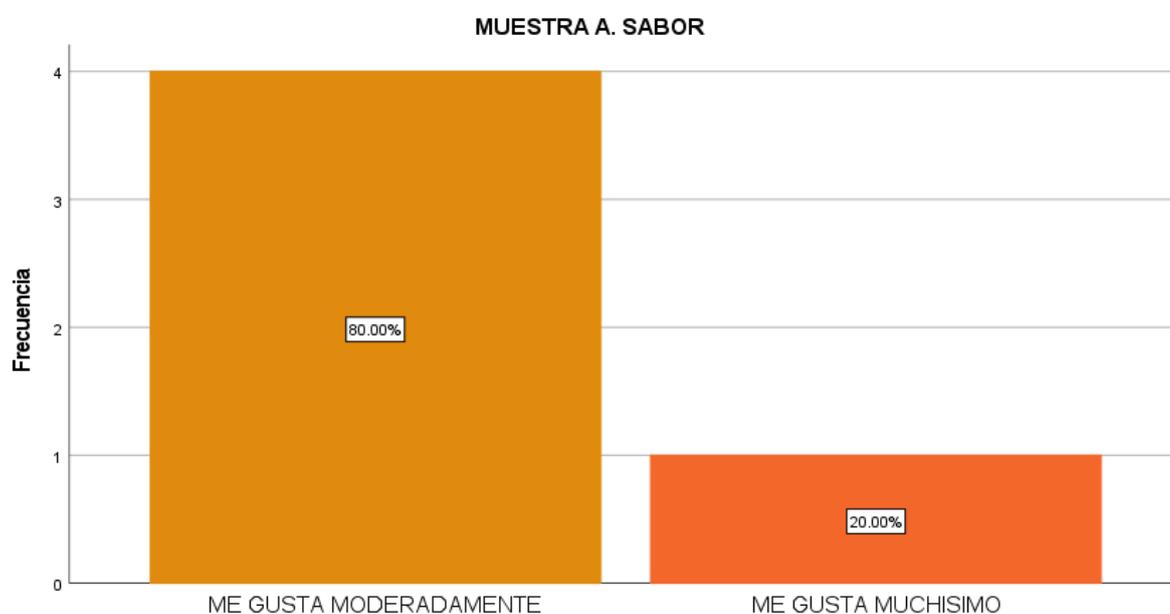
### MUESTRA A SABOR

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE		4	80.0	80.0	80.0
	ME GUSTA MUCHISIMO		1	20.0	20.0	100.0
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del sabor de la muestra A, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a cuatro les gustó moderadamente el sabor de la muestra A y a uno le gustó muchísimo. Dichos datos establecen que en general hubo una aceptación moderada de este atributo según la estimación de los panelistas.

**Gráfico 8.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra A en cuanto a su sabor.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 26.

El gráfico anterior demuestra que al 80% de los participantes les gustó moderadamente el sabor de la muestra A y al 20% les gustó muchísimo. En dicho gráfico se puede observar que la opción de me gusta moderadamente se eligió con mayor frecuencia (4.0), siendo este atributo el que menor aceptación tuvo para la muestra A.

### Resultados obtenidos en la evaluación sensorial de la muestra B.

**Tabla 28.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra B.

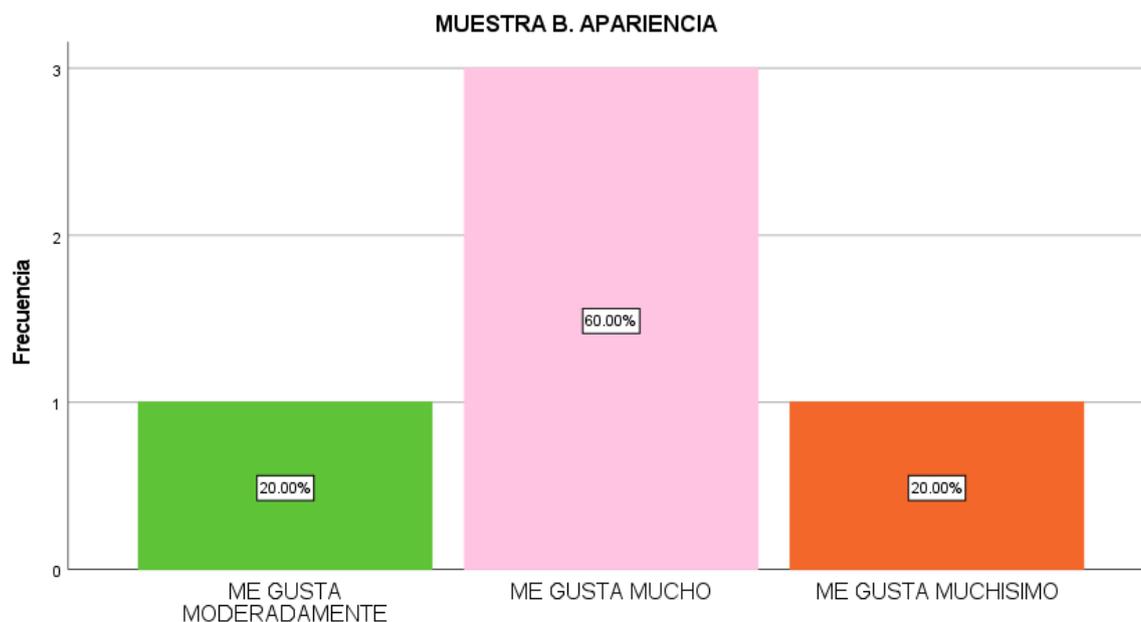
#### MUESTRA B APARIENCIA

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE		1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO		3	60.0	60.0	80.0
	ME GUSTA MUCHISIMO		1	20.0	20.0	100.0
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra B, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una le gustó moderadamente la apariencia de la muestra B, a tres les gustó mucho y a uno le gustó muchísimo. Estos resultados evidenciaron que dicho atributo tuvo una buena aceptación, ya que la opción de me gusta mucho fue seleccionada con más frecuencia.

**Gráfico 9.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su apariencia.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 27.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó moderadamente la apariencia de la muestra B, al 60% les gustó mucho y al 20% les gustó muchísimo. Además, en dicho gráfico se puede observar que la opción de me gusta mucho fue seleccionada con mayor frecuencia (3.0) y que las opciones de me gusta moderadamente y me gusta muchísimo se seleccionaron con la misma frecuencia (1.0).

**Tabla 29.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra B.

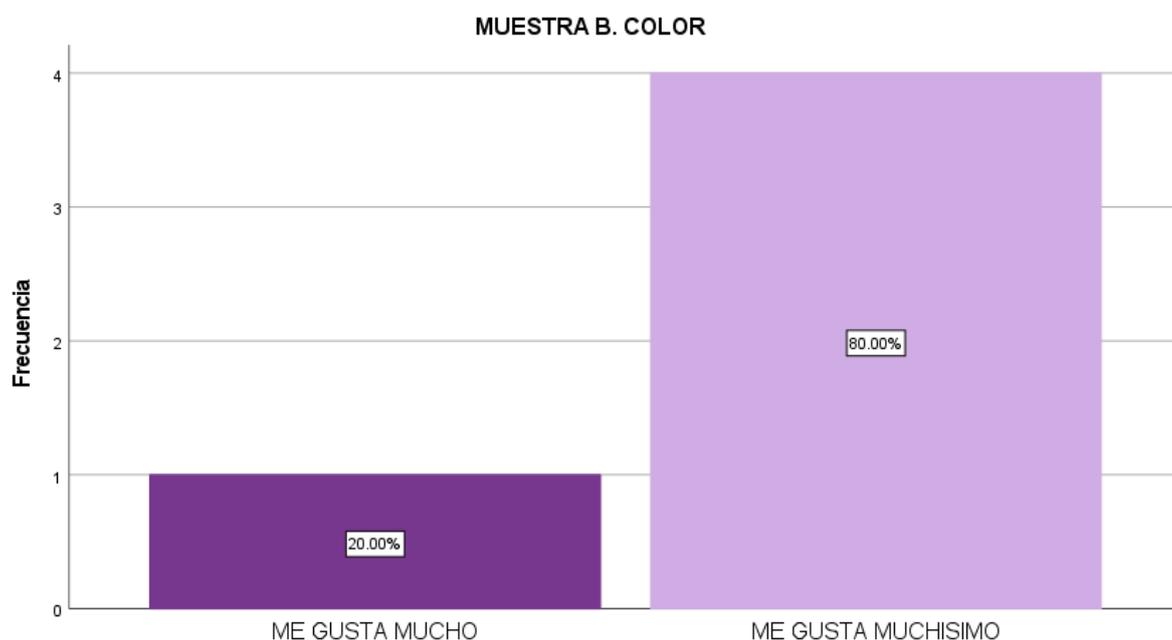
#### MUESTRA B COLOR

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MUCHO	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	4	80.0	80.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del color de la muestra B, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior establecen que, de cada 5 personas, a una le gustó mucho el color de la muestra B y a cuatro les gustó muchísimo. Estos resultados demuestran que hubo una muy buena aceptación de este atributo para la muestra B, con una evidente mayoría que expresó un gran agrado en cuanto a su color.

**Gráfico 10.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su color.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 28.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó mucho el color de la muestra B y al 80% les gustó muchísimo. Además, se puede observar que la frecuencia con la cual se eligió la opción de me gusta muchísimo (4.0), fue por mucho, superior a la de me gusta mucho (1.0).

**Tabla 30.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra B.

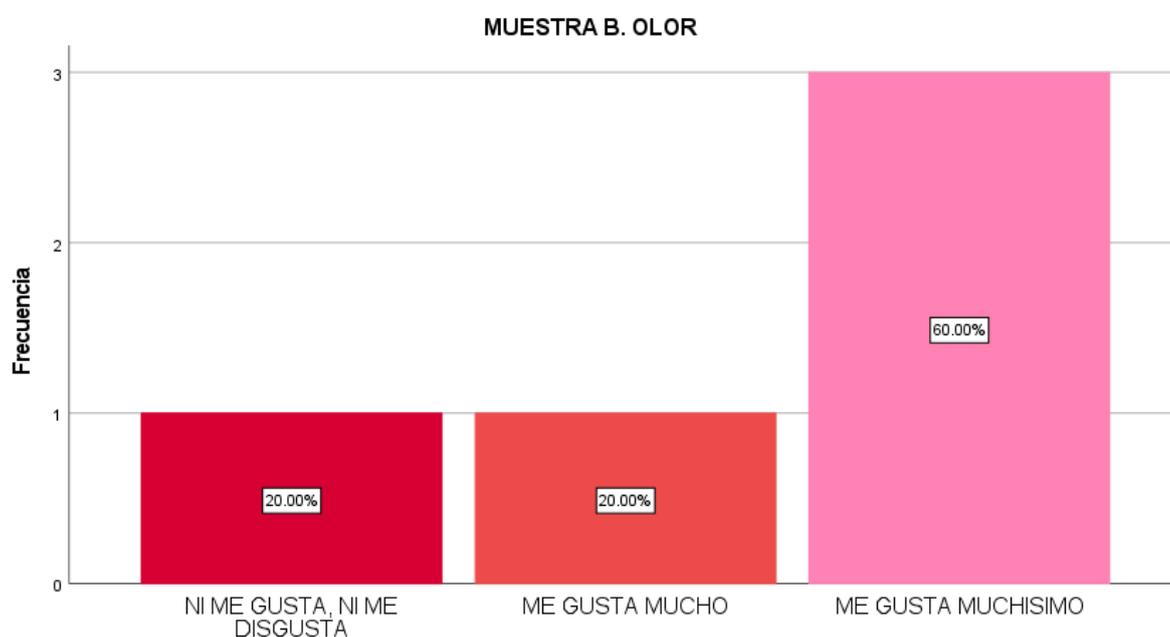
**MUESTRA B OLOR**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	NI ME GUSTA, NI ME DISGUSTA	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO	1	20.0	20.0	40.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	3	60.0	60.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del olor de la muestra B, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una ni le gustó, ni le disgustó el olor de la muestra B, a una le gustó mucho y a tres les gustó muchísimo. En general se obtuvo una buena aceptación de este atributo, superando al atributo de apariencia, pero aún por debajo del atributo de color.

**Gráfico 11.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su olor.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 29.

El gráfico anterior establece que al 20% de los participantes ni les gustó, ni les disgustó el olor de la muestra B, al 20% les gustó mucho y al 60% les gustó muchísimo. Dicho gráfico demuestra que las opciones de ni me gusta, ni me disgusta y me gusta mucho fueron seleccionadas con la misma frecuencia (1.0), mientras que la opción de me gusta muchísimo fue seleccionada con la mayor frecuencia (3.0).

**Tabla 31.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra B.

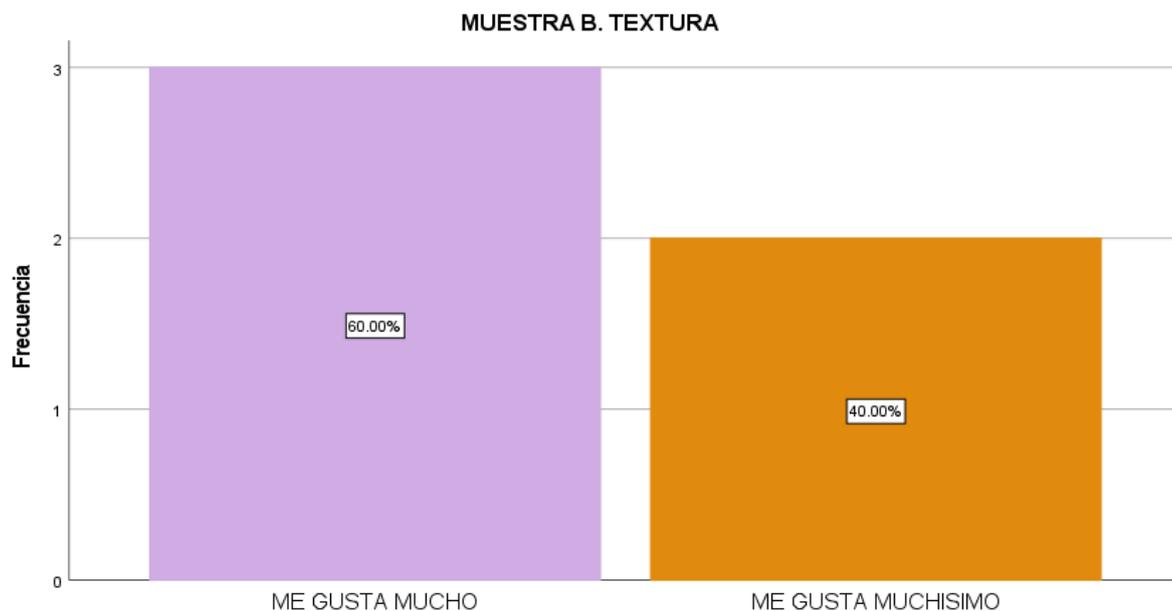
### MUESTRA B TEXTURA

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MUCHO	3	60.0	60.0	60.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	2	40.0	40.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la textura de la muestra B, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a tres les gustó mucho la textura de la muestra B y a dos les gustó muchísimo. Dichos datos establecen que hubo una buena aceptación en cuanto a este atributo, superior a la de la apariencia y el olor, pero inferior a la del color para esta muestra.

**Gráfico 12.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su textura.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 30.

El gráfico anterior demuestra que al 60% de los participantes les gustó mucho la textura de la muestra B y al 40% les gustó muchísimo. Dicho gráfico a la vez permite observar que de las dos valoraciones que fueron elegidas para evaluar la textura de dicha muestra, la más seleccionada de me gusta mucho obtuvo una frecuencia de elección ligeramente mayor (3.0) a la de me gusta muchísimo (2.0).

**Tabla 32.** *Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra B.*

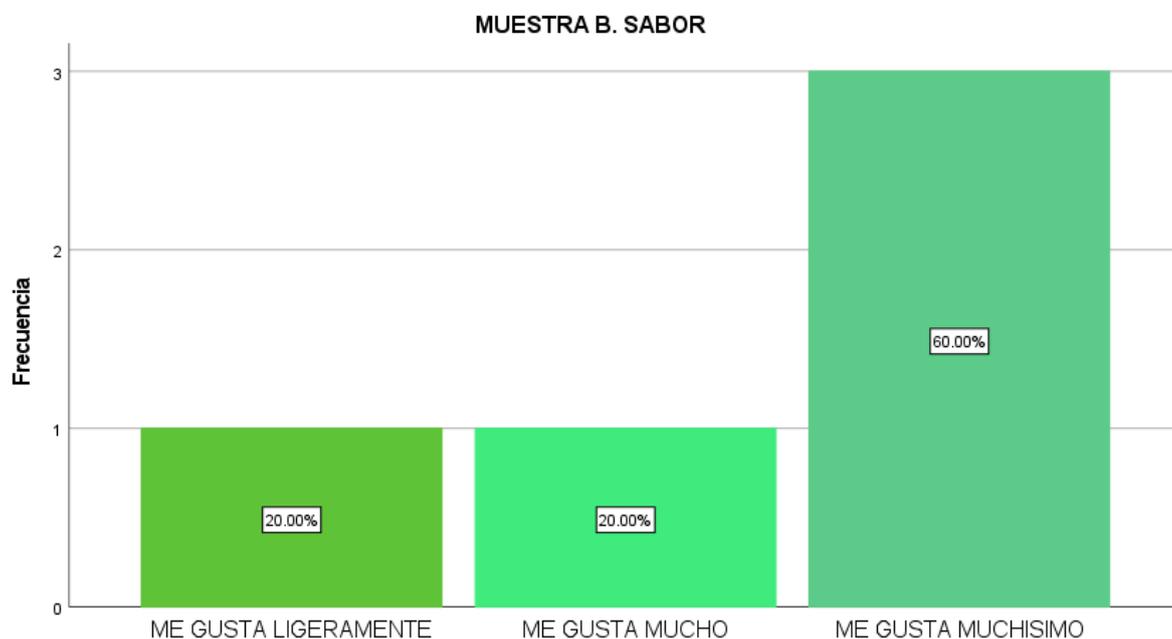
#### MUESTRA B SABOR

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA LIGERAMENTE	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO	1	20.0	20.0	40.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	3	60.0	60.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del sabor de la muestra B, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una le gustó ligeramente el sabor de la muestra B, a uno le gustó mucho y a tres les gustó muchísimo. Estos datos evidencian que hubo una buena aceptación de este atributo para dicha muestra.

**Gráfico 13.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra B en cuanto a su sabor.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 31.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó ligeramente el sabor de la muestra B, al 20% les gustó mucho y al 60% les gustó muchísimo. Además, se puede observar que dos de las valoraciones otorgadas para evaluar el sabor, coincidieron en la misma frecuencia (1.0), siendo estas: me gusta ligeramente y me gusta mucho, mientras que la valoración de me gusta muchísimo presentó una mayor frecuencia (3.0).

### Resultados obtenidos en la evaluación sensorial de la muestra C.

**Tabla 33.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra C.

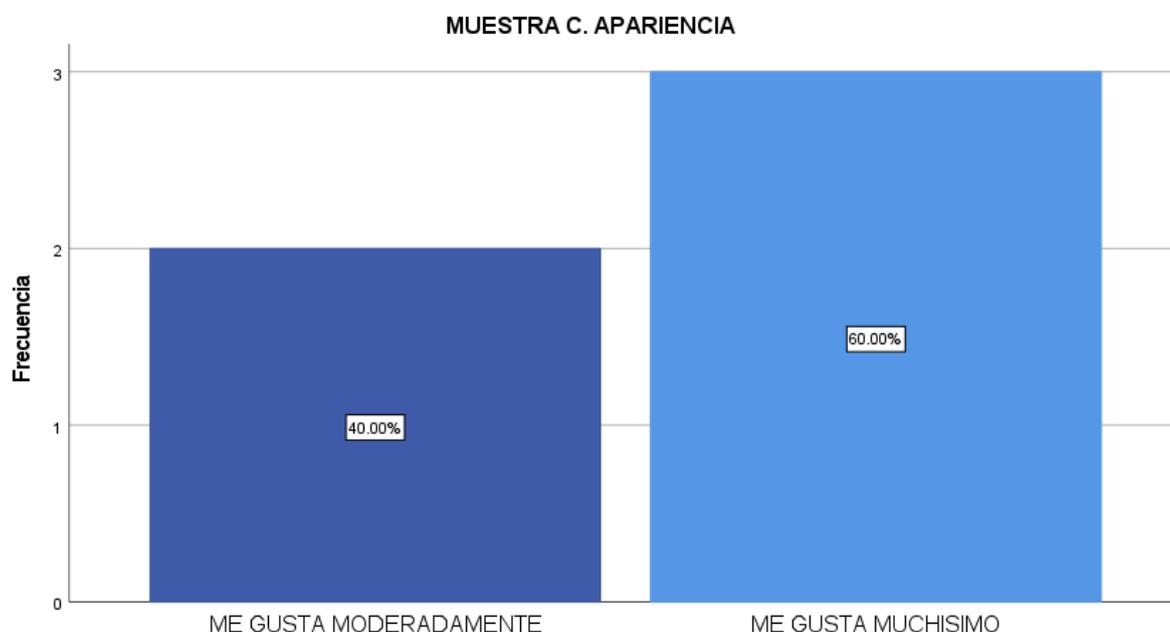
#### MUESTRA C APARIENCIA

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE	2	40.0	40.0	40.0	
	ME GUSTA MUCHISIMO	3	60.0	60.0	100.0	
	Total	5	100.0	100.0		

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la apariencia de la muestra C, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a dos le gustó moderadamente la apariencia de la muestra C y a tres le gustó muchísimo. Estos resultados establecen que hubo en general una buena aceptación de este atributo, ya que la opción de me gusta muchísimo fue seleccionada con mayor frecuencia.

**Gráfico 14.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su apariencia.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 32.

El gráfico anterior establece que al 40% de los participantes les gustó moderadamente la apariencia de la muestra C y al 60% les gustó muchísimo. Dicho gráfico también demuestra que las frecuencias con las cuales se eligieron únicamente las opciones de me gusta moderadamente (2.0) y me gusta muchísimo (3.0) presentaron valores muy cercanos.

**Tabla 34.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del color de la muestra C.

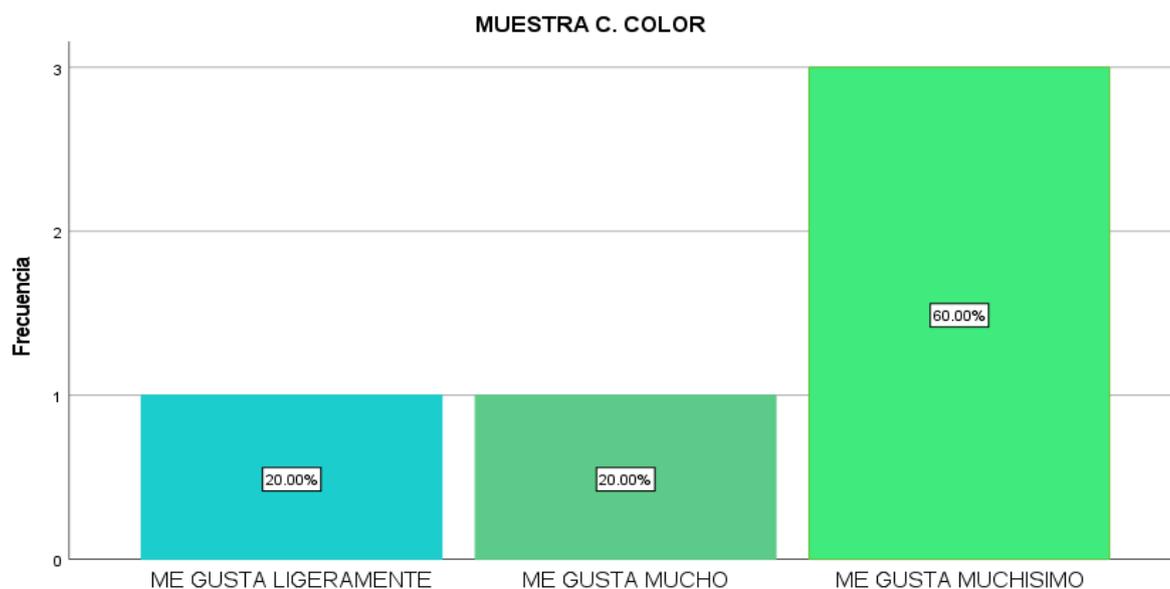
### MUESTRA C COLOR

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME	GUSTA	1	20.0	20.0	20.0
	LIGERAMENTE					
	ME GUSTA MUCHO		1	20.0	20.0	40.0
	ME	GUSTA	3	60.0	60.0	100.0
	MUCHISIMO					
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del color de la muestra C, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior establecen que, de cada 5 personas, a una le gustó ligeramente el color de la muestra C, a una le gustó mucho y a tres les gustó muchísimo. Dichos resultados demuestran que en general hubo una buena aceptación en cuanto a este atributo, ya que fue valorado con mayor frecuencia utilizando la opción de me gusta muchísimo.

**Gráfico 15.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su color.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 33.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó ligeramente el color de la muestra C, al 20% les gustó mucho y al 60% les gustó muchísimo. Los resultados reflejados en dicho gráfico permiten observar que las opciones de me gusta ligeramente y me gusta mucho obtuvieron una frecuencia de selección igual (1.0) y que la opción de me gusta muchísimo obtuvo una frecuencia superior (3.0).

**Tabla 35.** *Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del olor de la muestra C.*

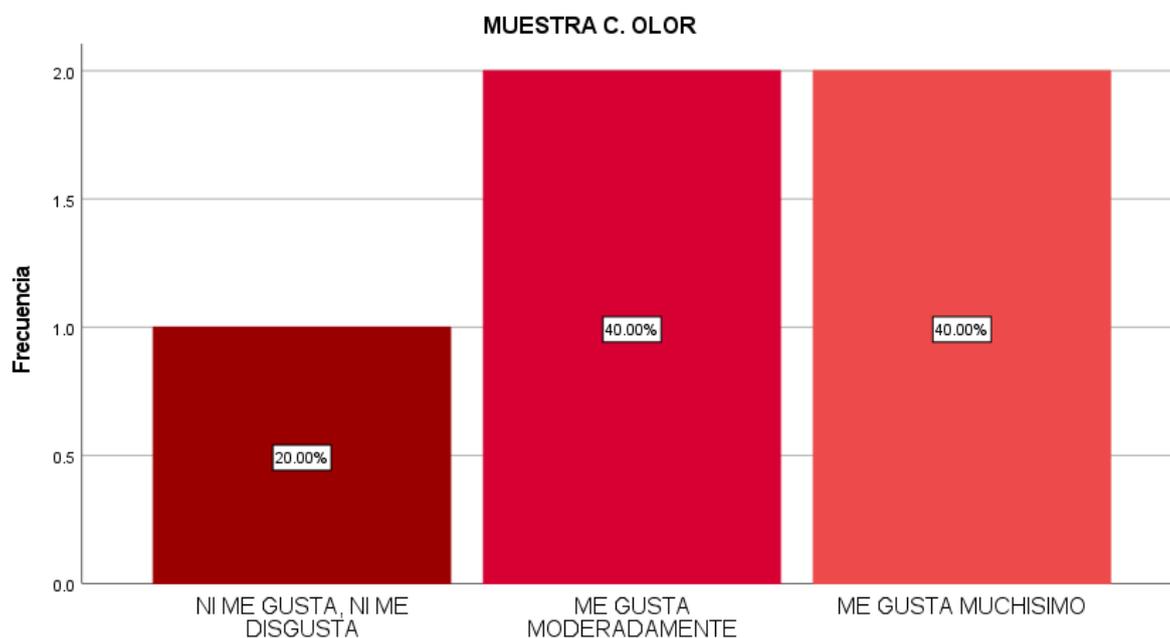
**MUESTRA C OLOR**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	NI ME GUSTA, NI ME DISGUSTA	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MODERADAMENTE	2	40.0	40.0	60.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	2	40.0	40.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del olor de la muestra C, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a una ni le gustó, ni le disgustó el olor de la muestra C, a dos les gustó moderadamente y a dos les gustó muchísimo. En general hubo una buena a moderada aceptación para este atributo en comparación con los demás que fueron analizados para esta muestra.

**Gráfico 16.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su olor.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 34.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes ni les gustó, ni les disgustó el olor de la muestra C, al 40% les gustó moderadamente y al 40% les gustó muchísimo. Dicho gráfico a la vez permite observar que dos de las valoraciones otorgadas para evaluar el olor, coincidieron en la misma frecuencia (2.0), siendo estas: me gusta moderadamente y me gusta muchísimo, mientras que ni me gusta, ni me disgusta presentó una menor frecuencia (1.0).

**Tabla 36.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación de la textura de la muestra C.

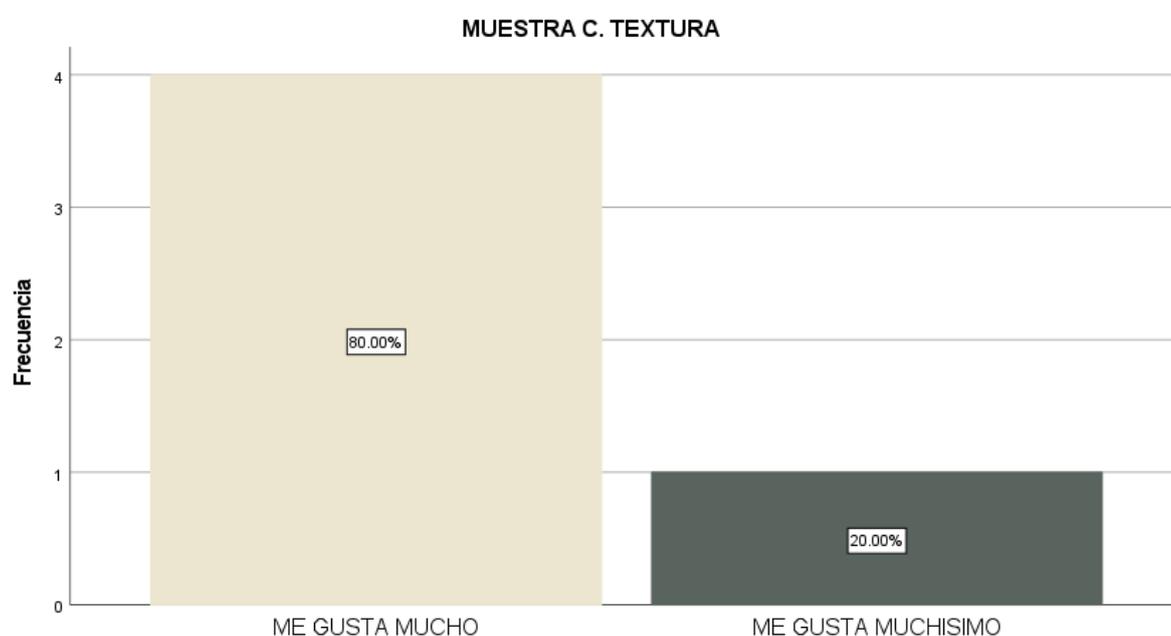
**MUESTRA C TEXTURA**

			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MUCHO		4	80.0	80.0	80.0
	ME GUSTA MUCHISIMO		1	20.0	20.0	100.0
	Total		5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación de la textura de la muestra C, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior demuestran que, de cada 5 personas, a cuatro les gustó mucho la textura de la muestra C y a uno le gustó muchísimo. Dichos datos establecen que en general hubo una buena aceptación de este atributo, ya que la mayoría le otorgó valoraciones favorables.

**Gráfico 17.** Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su textura.



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 35.

El gráfico anterior demuestra que al 80% de los participantes les gustó mucho la textura de la muestra C y al 20% les gustó muchísimo. Dicho gráfico también indica que la opción que tuvo una frecuencia más elevada de elección fue la de me gusta mucho (4.0), otorgando a la opción de me gusta muchísimo una frecuencia menor (1.0).

**Tabla 37.** Valores obtenidos en cuanto a frecuencia y porcentaje en la clasificación que identifica el nivel de aceptación del sabor de la muestra C.

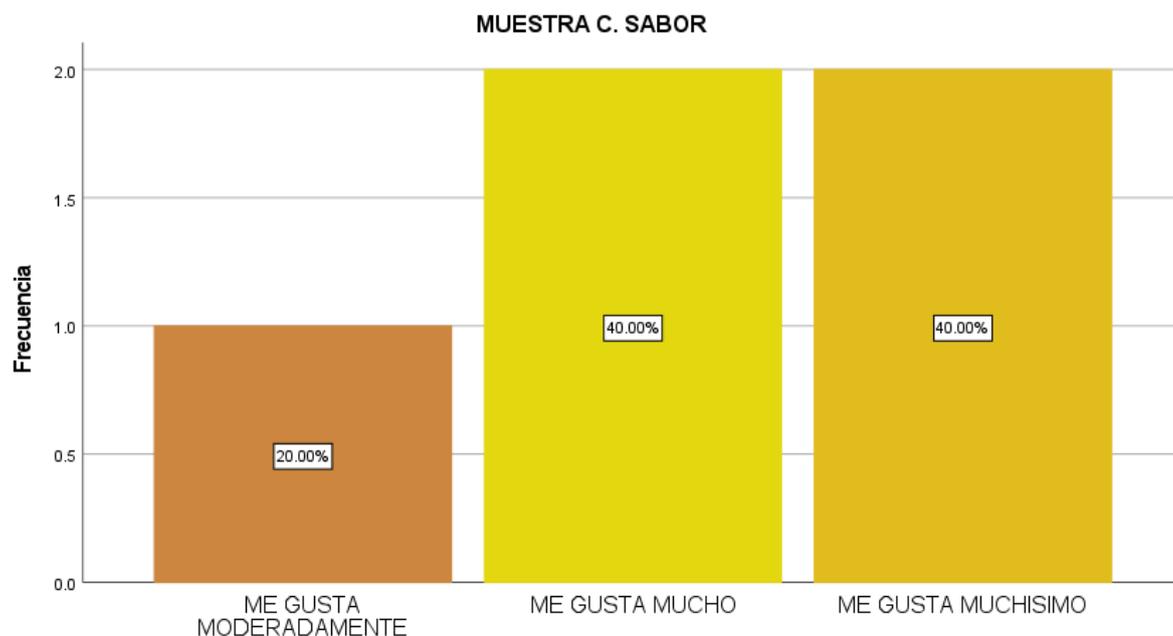
#### MUESTRA C SABOR

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	ME GUSTA MODERADAMENTE	1	20.0	20.0	20.0
	ME GUSTA MUCHO	1	20.0	20.0	40.0
	ME GUSTA MUCHISIMO	3	60.0	60.0	100.0
	Total	5	100.0	100.0	

*Nota.* La tabla presenta el nivel de aceptación del sabor de la muestra C, evaluada según la escala hedónica de 9 puntos.

Los datos de la tabla anterior establecen que, de cada 5 personas, a una le gustó moderadamente el sabor de la muestra C, a una le gustó mucho y a tres les gustó muchísimo. Esto demuestra que en general hubo una buena aceptación de este atributo para la muestra C, ya que la mayoría de los panelistas eligieron la opción de me gusta muchísimo.

**Gráfico 18.** *Porcentaje correspondiente al nivel de aceptación de la muestra C en cuanto a su sabor.*



*Nota.* El gráfico muestra la representación de los resultados de la tabla 36.

El gráfico anterior demuestra que al 20% de los participantes les gustó moderadamente el sabor de la muestra C, al 20% les gustó mucho y al 60% les gustó muchísimo. Dicho gráfico también indica que las opciones que tuvieron una frecuencia más elevada de elección fueron las de me gusta mucho y me gusta muchísimo, con una frecuencia de 2.0 para cada una, siendo la opción de me gusta moderadamente la menos seleccionada con una frecuencia de 1.0.

## 4.2 Discusión.

### Colorante

De las cuatro extracciones finales de las cuatro variedades de estudio, se obtuvieron valores dentro de los rangos de 210 ml a 396 ml de colorante. Es preciso recalcar que, para la extracción de la variedad lisa, solo se trabajó con una pitahaya debido a que, al momento de la extracción de todas las variedades, no fue posible conseguir otra unidad de esa variedad en específico. Además, es indispensable tener en cuenta al analizar los resultados obtenidos, que la cantidad de materia prima utilizada para cada una de las extracciones de las demás variedades (orejona, cebra y rosa) es diferente, a pesar de que fueron utilizadas dos unidades para dichas extracciones. Para la variedad orejona se utilizaron 484.3 g de pulpa con semillas, para la variedad cebra 356.42 g, para la lisa 228.75 g y para la rosa 378.3 g.

### Humedad

Los promedios de las cuatro variedades oscilaron en un rango del 84 al 85% de humedad. Para la variedad orejona se obtuvo un porcentaje promedio de 84.5%, para la cebra 85.26%, para la lisa 84.64% y para la rosa 84.44%.

Estos valores indican que el nivel de humedad de las cuatro variedades se encuentra dentro de los rangos reportados por Verona-Ruis, Urcia-Cerna y Paucar-Menacho (2020) para pitahayas de dos especies; del 89 al 82.3% para la especie *Hylocereus undatus* (pulpa blanca y cáscara rosa) y 85 al 85.9% para la especie *Hylocereus megalanthus* (pulpa blanca y cáscara amarilla).

### Determinación de sólidos totales

Se obtuvo un promedio del 15% de sólidos totales disueltos en cada variedad (Orejona 15.64 g, Cebra 14.73 g, Lisa 15.35 g y Rosa 15.55 g por cada 100 g de pulpa). Este valor engloba la cantidad de sólidos solubles y sólidos insolubles.

### Cromatografía líquida de capa fina

La cromatografía líquida de capa fina es una técnica cualitativa mediante la cual fue posible observar si las betalaínas: betacianinas (rojo-violeta) y betaxantinas (amarillo-naranja) estaban presentes en la pitahaya. Además, sirvió como base para los análisis posteriores por HPLC. En el caso de la pulpa no se notaban los dos pigmentos, únicamente se observó la presencia del color rojo-violeta correspondiente a las betacianinas, dato que se corroboró en los análisis por HPLC.

En el caso del colorante obtenido de la pitahaya entera (pulpa y cáscara) se observaron coloraciones correspondientes a betacianinas y betaxantinas, evidenciando la presencia de las betaxantinas en la cáscara de la pitahaya.

#### Cromatografía de columna

Efectivamente se pudo comprobar la ausencia de betaxantinas en los colorantes extraídos de las cuatro variedades, ya que solo se obtuvo extracto de color rosado correspondiente a las betacianinas.

Además, se utilizó la cromatografía de columna para purificar el extracto y eliminar otros compuestos que podían causar señales diferentes a las del compuesto de estudio en el análisis con FTIR

#### HPLC

Cada uno de los picos identificados en los espectros obtenidos, indica la presencia de una betacianina diferente con un tiempo de elución diferente. A través de esta técnica se logró observar la separación de betacianinas y betaxantinas que en capa fina y en columna no se puede apreciar a detalle. Se necesitan más técnicas espectroscópicas para determinar la identidad de las betacianinas encontradas, sería necesario obtener el espectro de masa y de resonancia magnético nuclear para identificar los compuestos observados.

#### Cuantificación

En cada variedad se obtuvieron valores diferentes de betalaínas (específicamente betacianinas). Es esencial mencionar que el método utilizado durante esta investigación es un método aproximado debido a que no es específico para cada tipo de betacianina y betaxantina, su aplicación es general para las betalaínas, ya que se miden a una sola longitud de onda y para cuantificar es necesario un estándar que permitiría realizar una curva de calibración. Por lo tanto, se asume que todas absorben a la misma longitud de onda.

Según la recopilación bibliográfica sobre cuantificación de betalaínas, el método que utiliza el estándar para cuantificar es un método consensuado.

#### FTIR

Se logró observar en los espectros generados, las señales representativas de cada una de las bandas de absorción de los grupos funcionales característicos únicamente de las betacianinas.

Se confirmó que los principales grupos identificados en las curvas de absorción respondían a los principales grupos de la molécula. Este análisis ayudó a confirmar la

presencia de la estructura de las betalainas para asegurar que si se estaba trabajando con este compuesto.

Evaluación sensorial de la muestra A, B y C con respecto al atributo de color.

Muestra A: Helado de crema con colorante extraído de la fruta entera (PLE25M).

De los datos obtenidos del análisis de frecuencia, en cuanto a su nivel de aceptación con respecto al color, para la muestra A se obtuvo un nivel del 20% en la categoría de me gusta moderadamente, el 40% para me gusta mucho y el 40% para me gusta muchísimo.

Muestra B: Helado de crema con colorante extraído de la pulpa (PSCS2J).

En el caso de la muestra B, se obtuvo un nivel del 20% para la categoría de me gusta mucho y 80% en la categoría de me gusta muchísimo.

Muestra C: Yogur con colorante extraído de la pulpa (PSCS2J).

Para la muestra C, obtuvo un nivel de 20% para la categoría de me gusta ligeramente, 20% para me gusta mucho y 60% para me gusta muchísimo.

Analizando los datos anteriormente mencionados, se denota un nivel de aceptación alto para cada una de las muestras evaluadas, siendo la muestra B correspondiente al helado elaborado con 6 ml de colorante líquido PSCS2J, la muestra con mayor aceptación del color percibido. Para profundizar en el nivel de aceptación de los colorantes obtenidos, aplicados en alimentos, es preciso realizar estudios con poblaciones más extensas y focalizadas. Además de probar su aplicación en una gama más amplia de alimentos.

### 4.3 Conclusiones.

Para seleccionar el método de extracción más óptimo se realizaron once pruebas preliminares y a partir del análisis de los resultados obtenidos, se determinó que no existe un método único e ideal para implementar un solo procedimiento. Los métodos empleados (ultrasonido, extracción por presión manual y agitación) se complementaban perfectamente para extraer el colorante.

Mediante las técnicas de cromatografía de capa fina y cromatografía de columna se identificó la presencia de betacianinas (coloración roja) y betaxantinas (coloración amarilla) en la pitahaya entera, mientras que en la pulpa solo se registró betacianina, por ello, se decidió trabajar solamente con la pulpa ya que el trabajar con la cáscara presentaba mucílago generando problema produciendo así desperdicio de semillas, cáscara y mucílago obtenido en la extracción del colorante, por tal razón es importante buscar de qué manera reutilizar la merma tanto en la industria alimentaria como en otras áreas.

El colorante en polvo obtenido a través del método de liofilización es altamente higroscópico por lo que para la implementación en la industria se debe realizar análisis y pruebas a través de la adición de aditivos para poder obtener un colorante en polvo suelto donde la absorción de humedad sea mínima.

Para poder cuantificar específicamente la cantidad de betalaínas contenida en el colorante, se debe utilizar un estándar, además de realizar otros análisis como resonancia magnética y espectrometría de masa para identificar el compuesto (betalaínas específicas) y así obtener su peso molecular y determinar cuanta cantidad de esa betalaínas engloba la pitahaya.

En base al método aproximado para la cuantificación de betalaínas podemos inferir que la variedad con mayor contenido de betacianinas es la variedad rosa con un valor de 6.02 mg/g por lo cual, se identifica como la variedad ideal para continuar posteriores investigaciones de cuantificación y aplicación.

A través de la separación cromatográfica en HPLC se determinó la presencia de cinco diferentes tipos de pigmentos en los cuales absorbían a 536 nm características de las betacianinas.

#### **4.4 Recomendaciones.**

Realizar pruebas de estabilidad para observar y analizar el proceso de degradación de los colorantes obtenidos a partir de las cuatro variedades. Para ello, es posible estudiar la cinética de degradación por medio de la espectrofotometría UV-Vis, que permitiría medir la absorbancia utilizando un método de medición por intervalos de tiempo, para observar como la curva de absorción va disminuyendo con el paso del tiempo.

Calcular el rendimiento total de las cuatro variedades con el objetivo de identificar a la variedad que presente un mayor rendimiento y a la vez, analizar si su uso es rentable para la industria.

Si se desean obtener datos exactos sobre la cantidad de betalaínas (betacianinas) presentes en las variedades estudiadas, se debe considerar realizar una curva de concentraciones de cada variedad, para comparar sus absorbancias con las de un estándar específico para betalaínas.

Con respecto a la aplicación en alimentos de los colorantes obtenidos, uno de los factores importantes a considerar es el pH del alimento, tomando en cuenta que el colorante presenta mayor estabilidad en su pigmentación a un nivel de pH ácido, pero también es preciso considerar analizar el comportamiento de los pigmentos a niveles de pH específicos.

Se deben reutilizar y reciclar los desechos y/o desperdicios generados en la extracción del colorante de la pitahaya (cáscara) ya sea para su utilización en la industria alimentaria, textil u otras, esto para reducir los desechos y generar un subproducto con valor agregado.

#### 4.5 Referencias bibliográficas

ALMANZA MERCHÁN, Pedro José y otros. 2012. *Manual para el cultivo de frutales en el trópico: Pitahaya Amarilla*. 1a. ed. Colombia: Produmedios. ISBN 978-958-99892-5-8.

APARICIO CANELA, Erick Geovanni. 2017. Técnicas colorimétricas. En: *Visión criminológica-criminalística*. [En línea]. pp. 18-23. [Fecha de consulta: 25 de julio de 2022]. Disponible en: [http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08\\_Tecnicas\\_colorimetricas.pdf](http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08_Tecnicas_colorimetricas.pdf)

ARCINIEGA YÁÑEZ, María José y otros. 2018. Extracción de pigmentos naturales por el método de liofilización para la elaboración de acuarelas no tóxicas. En: *Repositorio de la Universidad Iberoamericana de Puebla*. [En línea]. [Fecha de consulta el: 14 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3855/Extraccio%CC%81n%20de%20pigmentos%20naturales%20por%20el%20me%CC%81todo%20de%20liofilizacio%CC%81n%20para%20la%20elaboracio%CC%81n%20de%20acuarelas%20no%20to%CC%81xicas%20 Modalidad%20interactivo %20Articulo\\_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3855/Extraccio%CC%81n%20de%20pigmentos%20naturales%20por%20el%20me%CC%81todo%20de%20liofilizacio%CC%81n%20para%20la%20elaboracio%CC%81n%20de%20acuarelas%20no%20to%CC%81xicas%20 Modalidad%20interactivo %20Articulo_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ARTIGAS, José María; CAPILLA, Pascual y PUJOL, Jaume. 2002. *Fundamentos de colorimetría*. [En línea] 1a ed. Valencia: Universitat de Valencia, Servei de publicacions: Maite Simón. [Fecha de consulta el: 21 de julio de 2022]. ISBN 9788437054209. Disponible en: [https://books.google.com/sv/books/about/Fundamentos\\_de\\_colorimetr%C3%ADa.html?id=f8u6BLhkoaMC&redir\\_esc=y](https://books.google.com/sv/books/about/Fundamentos_de_colorimetr%C3%ADa.html?id=f8u6BLhkoaMC&redir_esc=y)

AZUOLA, Rocío y VARGAS-AGUILAR, Pedro. 2007. Extracción de sustancias asistidas por ultrasonido (EUA). En: *Tecnología En Marcha*. [En línea]. 4a ed. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica. **20**(4), pp. 30-40. [Fecha de consulta el: 21 de julio de 2022]. ISSN Online: 0379-3982. Disponible en: [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/449](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/449)

BADUI DERGAL, Salvador. 2006. *Química de los alimentos*. [En línea]. 4ª ed. México: Pearson Educación de México. S. A de C.V. [Fecha de consulta el: 21 de julio de 2022]. ISBN 970-26-0670-5. Disponible en: <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/quimica-de-los-alimentos1.pdf>

Biotecnologías Aplicadas S.I. BTSA. 2019. En: *Aditivos alimentarios y su clasificación números E* [Fecha de consulta el: 25 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.btsa.com/aditivos-alimentarios-y-su-clasificacion-numeros-e/>

CASTELLANOS-SANTIAGO, Elena; M. YAHIA, Elhadi. 2008. Identification and Quantification of Betalains from the fruits of 10 Mexican Prickly Pear Cultivars by High-Performance Liquid Chromatography and Electrospray Ionization Mass Spectrometry. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. [En línea]. México. **56**(14), pp. 5758-5764. [Fecha de consulta el: 28 de junio de 2022]. ISSN: 5758-5764. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1021/jf800362t>.

CARNICERO, Joaquín. 2016. Ingredientes naturales, preferidos por los consumidores. En: *AINIA News* [Consultado el: 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.ainia.es/ainia-news/ingredientes-naturales-preferidos-por-los-consumidores/>

CERVANTES-SÁNCHEZ, Martha Elena y otros. 2017. Obtención de un colorante natural a partir de la pitahaya (*Hylocereus undatus haworth, britton y rose*) de la región sur del estado de Campeche. En: *Mexican Journal of Biotechnology* [En línea]. México. **2**(2), pp. 65-73. [Consultado el: 20 de septiembre de 2022]. ISSN:2448-6590. Disponible en: [https://docs.wixstatic.com/ugd/38ce56\\_56e7822931a644fe989c28776d5f517f.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/38ce56_56e7822931a644fe989c28776d5f517f.pdf)

COBA CARRERA, Raquel Leticia. 2019. Obtención del colorante natural de tuna (*Opuntia ficus-indica*). En: *Ciencia digital*. [En línea]. Ecuador: Revista Ciencia Digital. **3**(3.2). pp. 232-240. [Consultado el: 20 de septiembre de 2022]. ISSN: 2602-8085. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.729>

CORRALES RAMÍREZ, Lucía Constanza y CAYCEDO LOZANO, Liliana. 2020. Principios fisicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología. En: *NOVA*. [En línea]. Colombia: Sello editorial Universidad Nacional Abierta y a Distancia. **18**(33), pp.73-100. [Consultado el: 19 de julio de 2022]. ISSN 1794-2470 Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>

CROMTEK. Sin fecha. Evaporador rotatorio: funcionamiento y componentes básicos. En: *Equipamiento analítico* [Consultado el: 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.cromtek.cl/2021/01/28/rotavapor-funcionamiento-y-componentes-basicos/>

FAO y OMS. 1995. Norma general para los aditivos alimentarios. En: *Codex Alimentarius* [En línea] CODEX STAN 192-1995. [Consultado el: 30 de junio de 2022]. Disponible en:

[https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS\\_192s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192s.pdf)

FARBE NATURALS. 2016. El futuro de los colorantes naturales. En: *Farbe Naturals* [Consultado el: 11 de junio de 2022]. Disponible en: <https://farbe.com.mx/el-futuro-de-los-colorantes-naturales/>

FENNEMA, Owen R. 2000. Química de los alimentos. 2ª ed. España: Editorial ACRIBIA, S.A. ISBN 84-200-0914-8.

FLORES MANCHA, Martha, RENTERÍA MONTEERRUBIO, Ana, VEGA SÁNCHEZ, Rogelio y CHÁVEZ MARTÍNEZ, América. 2019. Estructura y estabilidad de las betalainas. En: *Interciencia*. [En línea]. México: Asociación Interciencia. **44**(6), pp. 318-325. [Consultado el: 30 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068002/html/>

FONTAL, Bernardo. 2005. El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. [En línea]. [Consultado el: 30 de junio de 2022]. Disponible en: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro\\_electromagnetico.pdf;jsessionid=FC253492F2F057422BC25EBAB4ABD7CD?sequence=1](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro_electromagnetico.pdf;jsessionid=FC253492F2F057422BC25EBAB4ABD7CD?sequence=1)

GARCÍA, Guillermina. 2021. Tres desafíos de la industria alimentaria en la era post-Covid. En: *Tendencias de consumo* [Consultado el: 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/tres-desafios-de-la-industria-alimentaria-en-la-era-post-covid/>

GARCÍA-CRUZ, Leticia, SALINAS-MORENO, Yolanda y VALLE GUADARRAMA, Salvador. 2012. Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) En: *Revista Fitotecnia Mexicana*. [En línea]. México. **35**(5), pp.1-5 [Consultado el: 25 de julio de 2022]. ISSN: 0187-7380. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000500003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000500003)

GARZÓN, Astrid. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. En: *Acta biol. Colomb.* [En línea]. Colombia. **13**(3), pp. 27-36. [Consultado el: 28 de junio de 2022]. ISSN 0120-548X. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0120-548x2008000300002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-548x2008000300002)

GONZÁLES-ORTIZ, Alfonso y GUERRERO-BELTRÁN, J.A. 2018. Betalaínas: importancia, presencia en vegetales y sus aplicaciones en la industria alimentaria. En: *Revista Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos de la UDLAP*. [En línea]. México. **11**(2), pp. 12-21. [Consultado el: 28 de junio de 2022]. Disponible en: [https://issuu.com/webudlap/docs/tsia-vol11gonzalezortiz#:~:text=\(2015\)%20reportan%20un%20contenido%20de,g%20en%20c%C3%A1scara%20de%20pitahaya](https://issuu.com/webudlap/docs/tsia-vol11gonzalezortiz#:~:text=(2015)%20reportan%20un%20contenido%20de,g%20en%20c%C3%A1scara%20de%20pitahaya)

GOÑI, Sandro Mauricio y SALVADORI, Viviana Olga. 2015. CIELAB: Color measurement from digital images. En: *Unidades académicas* [Consultado el: 23 de julio de 2022]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45660>

GUZMÁN VILLANUEVA, Margarita. Sin fecha. Identificación y cuantificación de sustancias por HPLC. En: Unidad de servicios de apoyo a la investigación y a la industria (USAII). [Consultado el: 16 de junio de 2022]. Disponible en: <https://quimica.unam.mx/investigacion/servicios-para-la-investigacion/usaii>

KONICA MINOLTA. 2020. Laboratorio. En: *Centro de medios* [Consultado el: 16 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www5.konicaminolta.eu/nl/measuring-instruments/media-centrum/poster-downloaden.html>

MARCANO, Deanna. *Introducción a la Química de los colorantes* [En línea]. Ed. 2. Venezuela: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. 1989. 2018 [Consultado el: 30 de junio de 2022]. ISBN: 978-980-6195-59-2. Disponible en: <https://obras.acfiman.org/wp-content/uploads/2021/01/colorantes-listo-isbn.pdf>

MATEOS-APARICIO, Inmaculada. 2017. *Aditivos alimentarios*. [En línea]. 1a ed. España: Dextra Editorial S.L. [Consultado el: 30 de junio de 2022]. ISBN 978-84-16898-19-0 Disponible en: [https://elibro.net/es/lc/ujmd/titulos/131536?as\\_all=aditivos\\_alimentarios&as\\_all\\_op=unaccent\\_icontains&prev=as](https://elibro.net/es/lc/ujmd/titulos/131536?as_all=aditivos_alimentarios&as_all_op=unaccent_icontains&prev=as)

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 2021. La pitahaya también llamada fruta del dragón, es un cultivo exótico y poco conocido en nuestro país. En: *AgriculturaSV* [Consultado el: 15 de junio de 2022]. Disponible en: <https://twitter.com/agriculturasv/status/1419822587937497088?lang=es>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2018. Aditivos alimentarios. En: *Centro de prensa* [Consultado el: 11 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives#:~:text=La%20OMS%20recomienda%20a%20las,los%20usos%20y%20condiciones%20autorizadas.>

PARRA ORTEGA, Verónica Paz. *Estudio comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos, desde el punto de vista funcional y toxicológico*. [En línea] [Tesis de Ciencias de los alimentos]. Universidad Austral de Chile, Chile, 2004. [Consultado el: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fap259e/pdf/fap259e.pdf>

PRADO SERRANO, Ariel; CAMAS BENÍTEZ, Jiny y LAREDO MENDIOLA, Lisbet. 2008. Sensopercepción del color. En: *Revista Mexicana de Oftalmología*. [En línea]. México. **82**(2), pp. 101-110. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmexoft/rmo-2008/rmo082h.pdf>

PAUCAR-MENACHO, Luz María; SALVADOR-REYES, Rebeca; GUILLÉN-SÁNCHEZ, Jhoseline y MORI-ARISMENDI, Sigry. 2016. Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de soya en las características tecnológicas y sensoriales de cupcakes destinados a niños en edad escolar. En: *Scientia Agropecuaria*. [En línea]. Perú. **7**(2), pp. 121-132. [Consultado el: 28 de junio de 2022]. ISSN: 2077-9917. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357646642005>

RESTREPO GALLEGO, Mauricio. 2007. Sustitución de colorantes en alimentos. En: *Rev. Lasallista Investig.* [En línea]. Colombia. **4**(1), pp. 35-39. [Consultado el: 30 de junio de 2022]. ISSN: 1794-4449. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492007000100006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492007000100006)

SÁENZ SUCUNZA, David. 2019. De malva, rojo y azul. En: *Métode*. [En línea]. 3(102), pp. 19-23. [Consultado el: 12 de junio de 2022]. Disponible en: <https://metode.es/wp-content/uploads/2019/09/102ES-sucunza-malva-rojo-azul-perkins.pdf>

SKOOG, Douglas A; Holler, F. James y NIEMAN, Timothy A. 2001. *Principios de análisis instrumental*. [En línea]. 5ª ed. España: McGraw-HILL/Interamericana de España, S.A.U. [Fecha de consulta el: 21 de julio de 2022]. ISBN 84-481-2775-7. Disponible en:

<https://dokumen.tips/documents/principios-de-analisis-instrumental-skoog-holler-nieman-5ta-edicion-569865ff211ad.html?page=1>

UNIVERSIDAD DE ALICANTE. 2012. Tema 6 Teoría ondulatoria de la Luz. En: *RUA. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante* [Consultado el: 11 de junio de 2022]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16578/1/6.%20Introducci%20a%20la%20teor%20ondulatoria%20de%20la%20luz.pdf>

VELÁZQUEZ-SÁMANO, Guillermo, COLLADO-CHAGOYA, Rodrigo, CRUZ-PANTOJA, Ruben, VELAZCO-MEDINA, Andrea y ROSALES-GUEVARA, Juan. 2019. Reacciones de hipersensibilidad a aditivos alimentarios. En: *Revista Alergia México*. [En línea]. México. **66**(3), pp.329-339. [Consultado el: 23 de septiembre de 2022]. ISSN 2448-9190. Disponible en: <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.613>

VERONA-RUIZ, Anggie, UCRIA-CERNA, Juan y PAUCAR-MENACHO, Luz. 2020. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. En: *Scientia Agropecuaria*. [En línea]. Perú. **11**(3), pp. 439-453. [Consultado el: 28 de junio de 2022]. ISSN 2077-9917. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

## 4.6 Anexos



**UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO**  
**FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA JULIA**  
**HILL O'SULLIVAN**

**Análisis sensorial de escala hedónica de 9 puntos**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_ Sexo: F \_\_\_\_ M \_\_\_\_ ¿Fuma?: Si\_\_ No\_\_

¿Toma café?: Si\_\_ No\_\_ ¿Ingiere bebidas alcohólicas?: Si\_\_ No\_\_

**Indicaciones:** A continuación, se presentan tres muestras, evalúe en cuanto a su agrado, seleccionando la opción que mejor describa su opinión con un cheque (✓) acerca de la muestra empleando la escala hedónica. En caso de tener alguna observación, puede agregarla en la parte inferior de la última hoja. Agradecemos su colaboración.

**MUESTRA A**

PUNTAJE	CALIFICACIÓN	APARIENCIA	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
9	Me gusta muchísimo					
8	Me gusta mucho					
7	Me gusta moderadamente					
6	Me gusta ligeramente					
5	Ni me gusta, ni me disgusta					
4	Me disgusta ligeramente					
3	Me disgusta moderadamente					
2	Me disgusta mucho					
1	Me disgusta muchísimo					

**MUESTRA B**

PUNTAJE	CALIFICACIÓN	APARIENCIA	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
9	Me gusta muchísimo					
8	Me gusta mucho					
7	Me gusta moderadamente					
6	Me gusta ligeramente					
5	Ni me gusta, ni me disgusta					
4	Me disgusta ligeramente					
3	Me disgusta moderadamente					
2	Me disgusta mucho					
1	Me disgusta muchísimo					

**MUESTRA C**

PUNTAJE	CALIFICACIÓN	APARIENCIA	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
9	Me gusta muchísimo					
8	Me gusta mucho					
7	Me gusta moderadamente					
6	Me gusta ligeramente					
5	Ni me gusta, ni me disgusta					
4	Me disgusta ligeramente					
3	Me disgusta moderadamente					
2	Me disgusta mucho					
1	Me disgusta muchísimo					

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA

# Reporte de Análisis

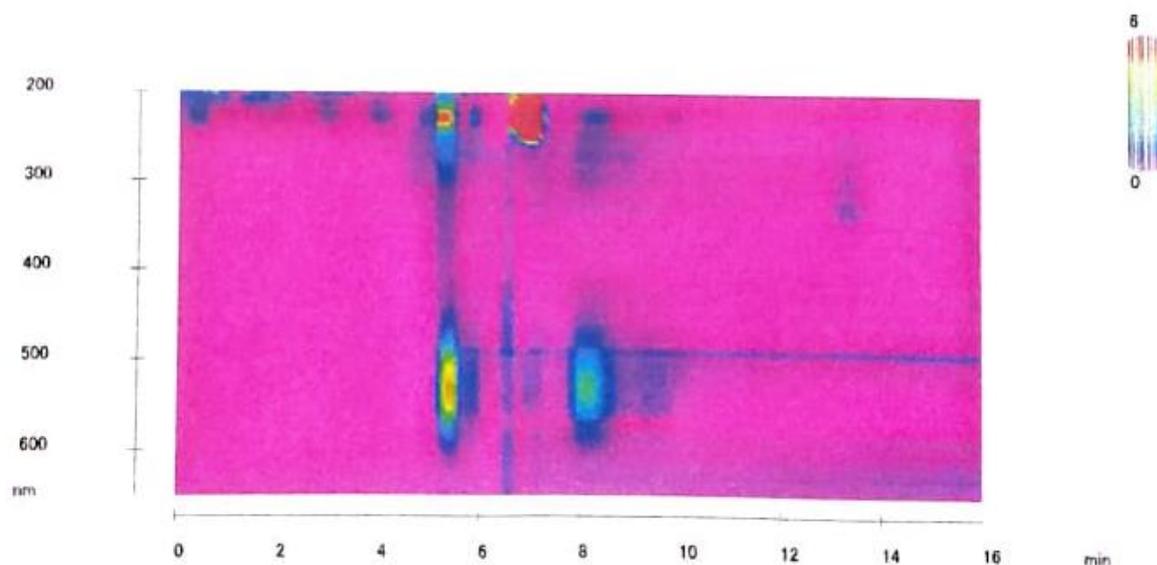
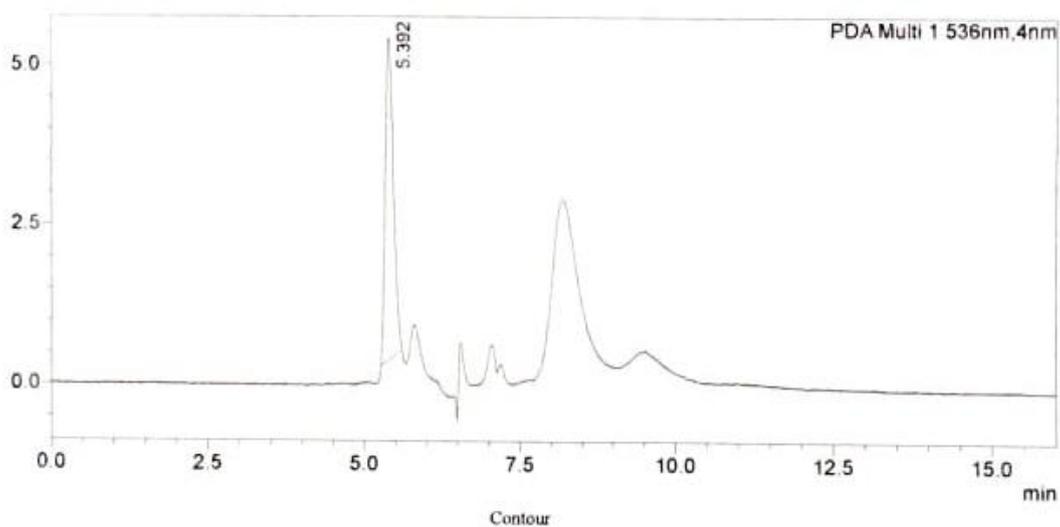
## <Sample Information>

Sample Name : 2C  
Sample ID : 2C  
Data Filename : 2C.lcd  
Method Filename : Método Pi1.lcm  
Batch Filename : Batch 14-07-2022 lcb  
Vial # : 1-8  
Injection Volume : 20 uL  
Date Acquired : 14/07/2022 13:41:46  
Date Processed : 14/07/2022 13:57:48

Sample Type : Unknown  
Acquired by : System Administrator  
Processed by : System Administrator

## <Chromatogram>

mAU





# Reporte de Análisis



## <Sample Information>

Sample Name : 1C  
Sample ID : 1C  
Data Filename : 1C.lcd  
Method Filename : Método Pi1.lcm  
Batch Filename : Batch 14-07-2022.lcb  
Vial # : 1-7  
Injection Volume : 20 uL  
Date Acquired : 14/07/2022 13:25:21  
Date Processed : 14/07/2022 13:41:23

Sample Type : Unknown  
Acquired by : System Administrator  
Processed by : System Administrator

## <Chromatogram>

mAU

