

***SUSTITUCIÓN DEL COLORANTE SINTÉTICO ROJO NO.40 POR
COLORANTES A BASE DE ANTOCIANINAS USANDO CIRUELA
ROJA.**

SANTIAGO RAMIREZ GUTIERREZ

Proyecto integral de grado para optar por el título de

INGENIERO QUÍMICO

Director

ADRIANA SUESCA DÍAZ

Ingeniero Químico

Msc. Ing. Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN
(Dirección de Investigaciones)

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C. noviembre de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA - PEÑA

Consejero institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA - PEÑA

Vicerrectora Académica

Dra. MARIA FERNANDA VEGA de MENDOZA

Vicerrectora de Investigación y Extensión

Dra. SUSANA MARGARITA BENAVIDES TRUJILLO

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RAMIRO AUGUSTO FORERO CORZO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACIAS RODRIGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Directora Programa Ingeniería Química y Ambiental

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a mis padres y a mi hermano, por su apoyo.
- Profesora Adriana Suesca, mi directora de tesis por su guía, apoyo y acompañamiento durante la elaboración del trabajo de grado.
- Agradezco a mi pareja, mis amigos dentro y fuera de la universidad no solo por motivarme día a día, sino por su ayuda en todo este proceso de elaboración de la tesis de grado.
- Universidad de América

TABLA DE CONTENIDO

	pág
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
OBJETIVOS	15
PREGUNTA PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	17
1. GENERALIDADES	19
1.1. Pigmentos, colorantes y colorimetría	19
<i>1.1.1. Producción y tipos de colorantes en la industria alimentaria</i>	21
<i>1.1.2. Colorantes sintéticos, colorante rojo 40</i>	24
<i>1.1.3. Pigmentos de origen vegetal</i>	27
1.2. Extracción de pigmentos vegetales	

1.2.1. Definir cada matriz a emplear	32
1.2.2. Métodos de extracción	35
1.2.3. Cuantificación de las antocianinas	36
1.3. Seguridad alimentaria	43
1.4. Pruebas organolépticas	46
2. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LOS FRUTOS ROJOS	47
2.1. Introducción	47
2.2. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales del carbonero rojo	47
2.3. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales de la ciruela roja	50
3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS	55
3.1. Caracterización de la concentración de antocianinas	57
4. VIABILIDAD TÉCNICA Y DE COSTOS	78
4.1. Proceso de producción propuesto para la obtención de pigmentos rojos	78
4.1.1. Diagrama de flujo de bloques	78
4.1.2. Diagrama PFD	79
4.1.3. Equipos	81
4.1.4 Insumo y servicios	86
4.1.5. Balance de materia del proceso	87
4.2. Costos	86
5. ANALISIS DE RESULTADOS	112
6. CONCLUSIONES	113
REFERENCIAS	114

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Venta de colorantes alimenticios

22

Figura 2. Estructura química del colorante rojo 40

24

Figura 3. Estructura del ácido carmínico

27

Figura 4. Estructuras de los principales antocianos-3-O-glucósidos presentes en las frutas

28

Figura 5. Ciruela Roja Común "Prunus Domestica"

32

Figura 6. Formas estructurales predominantes de las antocianinas presentes a distintos niveles de pH

37

Figura 7. Características espectrales de la antocianin en tampones a pH 1,0 y 4,5

37

Figura 8. Diagrama de flujo proceso arrastre de vapor en frío

44

Figura 9. Sustrato obtenido con cáscara y pulpa de la ciruela

45

Figura 10. Oxidación primer extracto de ciruela

46

Figura 11. Maceración cáscara de ciruela

47

Figura 12. Arrastre por solvente ciruela

47

Figura 13. Filtración al vacío extracto de ciruela

48

Figura 14. Características espectrales de antocianinas (ciruela, derivados acilados de pelargonidina-3-sophoroside-5-glucoside) en tampones de pH 1,0 y pH 4,5

50

Figura 15. Diagrama método oficial 2005.02 de la AOAC aplicado

51

Figura 16. Preparación muestras para prueba organoléptica con cerveza

52

Figura 17. pH medido de la cerveza de la muestra

53

Figura 18. Cerveza con antocianinas agregadas

54

Figura 19. Prueba de pH concentración 96 %

55

Figura 20. Sustrato [50%] con buffer de cloruro de potasio

56

Figura 21. Primera lectura absorbancia en el espectrofotómetro [50%]

57

Figura 22. Sustrato [50%] con 10 mL de buffer cloruro de potasio

57

Figura 23. Última lectura de absorbancia en el espectrofotómetro [50%]

58

Figura 24. Sustrato [50%] con de buffer de acetato de sodio

58

Figura 25. Primera lectura absorbancia en el espectrofotómetro segundo buffer [50%]

59

Figura 26. Sustrato [50%] con de buffer de acetato de sodio con 4 mL

59

Figura 27. Última lectura absorbancia en el espectrofotómetro segundo buffer [50%]

60

Figura 28. Gráfica concentración vs cantidad de antocianinas

62

Figura 29. Diagrama de flujo de bloques

69

Figura 30. Diagrama PFD extracción antocianinas

70

Figura 31. Tanque de almacenamiento de las ciruelas

71

Figura 32. Despulpadora

72

Figura 33. Molino de martillos

72

Figura 34. Tanque mezclador

73

Figura 35. Filtro al vacío

3

7

Figura 36. Bomba Centrífuga

74

Figura 37. Separador flash

74

Figura 38. Intercambiador de calor

75

Figura 39. Balance de despulpado

76

Figura 40. Balance de molienda

78

Figura 41. Balance Maceración

79

Figura 42. Balance filtración al vacío

81

Figura 43. Balance de materia destilación

83

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Tipos de colorantes y pigmentos

19

Tabla 2. Rangos de longitudes de onda para los diferentes colores

20

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas y características del colorante rojo 40

25

Tabla 4. Longitud de onda del máximo de absorción en la región visible

28

Tabla 5. Cantidad media de antocianinas en algunos alimentos

29

Tabla 6. Valor nutricional de la ciruela roja en 100 g

31

Tabla 7. Ventajas y desventajas métodos de extracción

33

Tabla 8. Normas de identidad y pureza de los colorantes artificiales permitidos para alimentos
40

Tabla 9. Diseño de experimentos
43

Tabla 10. Peso molecular, absorbanza molar (ϵ) y longitud de onda de máxima absorbanza (λ) para distintas antocianinas
61

Tabla 11. Tabla obtención de antocianinas de los sustratos Extraídos. Buffer 1 cloruro de potasio
61

Tabla 12. Componentes presentes en cada corriente del proceso productivo - Extracción de antocianinas.
85

Tabla 13. Medidas bombas centrifugas
86

Tabla 14. Medidas del reactor
87

Tabla 15. Precios maquinaria
88

Tabla 16. Materia prima a usar
89

Tabla 17. Servicios usados
90

Tabla 18. Cargos y sueldos

91

Tabla 19. Equipos de laboratorio

94

Tabla 20. Costos fijos

4

9

Tabla 21. Costos variables

95

Tabla 22. Costos planta, construcción

95

Tabla 23. Costo dotación, EPPs y equipos de seguridad.

96

Tabla 24. Gastos totales

98

Tabla 25. Comparación antocianinas y colorante rojo

99

RESUMEN

El proyecto propone el cambio y el reemplazo del colorante rojo 40, un aditivo alimentario sintético por antocianinas, compuestos naturales presentes en diversos alimentos como frutas, vegetales y flores que confieren colores rojos, violetas y azules. Las antocianinas son consideradas seguras y saludables, y su uso podría reducir la exposición a sustancias artificiales y potencialmente dañinas. Así el Arrulla Red Dye (colorante rojo 40) siendo uno de los aditivos en la industria alimenticia más dañinos por sus efectos secundarios y su composición requiere una solución, así se propone la ciruela como la alternativa en el proyecto para la extracción del pigmento y el reemplazo de este suplemento.

El proyecto propone una metodología para la extracción de los pigmentos de la ciruela, un estudio del rendimiento y cantidad extraídas de las antocianinas como una prueba organoléptica para evaluar la efectividad del componente orgánico como sustituto. Así la tesis proporciona los datos para la factibilidad en la industria y su posibilidad para el cambio de productos perjudiciales para el consumo humano por productos más orgánicos.

Palabras clave: (Antocianinas, Ciruelas, Colorante, Extracción, Pigmentos)

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es una de las industrias que mayormente se enfoca en el proceso de transformación de materias primas que les otorguen a los productos un valor agregado. Dicha transformación debe cumplir una serie de normativas establecidas por entidades nacionales e internacionales las cuales establecen un parámetro donde cumplan los límites mínimos y máximos para emplear dicha transformación.

En los alimentos ultra procesados se ha venido evidenciando una problemática relacionada con los efectos que tienen en la salud los aditivos y colorantes, como los son problemas en niños y adultos como trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), depresión, ansiedad y obesidad. [1]

Dentro de los colorantes se encuentra el colorante rojo 40, también conocido como Arulla roja, el cual es un colorante y aditivo empleado en la industria alimenticia para dar color a bebidas y alimentos, lo cual contribuye a su apariencia visual dándole un aspecto llamativo. Dicho colorante ha sido objeto de debate en los últimos años por su relación con problemas en la salud humana, puesto que se ha comprobado que tiene efectos adversos en la población que lo consume en un alto porcentaje. Por eso se busca suplir dichos colorantes sintéticos por colorantes orgánicos que permitan mantener la gama de color característica de los productos sin alterar su sabor y no afectar directamente la salud. [2]

Los pigmentos vegetales son una solución atractiva para el reemplazo de los colorantes sintéticos. Estos pigmentos naturales ampliamente presentes en frutas, verduras y flores no solo ofrecen una coloración brillante al alimento sino propiedades benéficas para la salud. [5]

En este trabajo se busca comprobar los beneficios de las antocianinas y su potencial como aditivo en la industria alimenticia, examinando sus propiedades físicas como químicas y su versatilidad en comparación con los aditivos sintéticos convencionales, con el propósito de escalar su proceso a un nivel industrial.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los tintes sintéticos son ampliamente utilizados en la producción de textiles, cuero, papel, y en la industria alimentaria. Sin embargo, se ha documentado que algunos de estos tintes pueden causar daño en el material genético y posiblemente contribuir al desarrollo del cáncer. Además de la exposición directa a través de la piel o la ingestión, estos productos químicos pueden contaminar el medio ambiente. Se estima que aproximadamente el 20% de la producción mundial de colorantes se pierde durante su aplicación debido a una fijación incompleta, lo que agrava aún más el impacto ambiental y potencialmente la exposición humana a estos compuestos tóxicos.[1]

Los colorantes azoicos son preocupantes debido a sus posibles efectos cancerígenos y mutagénicos. Cuando se descomponen, pueden generar aminas aromáticas que causan cáncer de vejiga. Esta descomposición puede ocurrir en el cuerpo humano, tanto por la flora intestinal como por enzimas hepáticas.[1]

El uso de estos colorantes alimentarios artificiales han experimentado un notable crecimiento del 500% en las últimas cinco décadas, especialmente entre los niños. Numerosas investigaciones han evidenciado que estos aditivos pueden provocar efectos secundarios graves, como hiperactividad, cáncer y alergias. En 1973, un alergólogo pediátrico sugirió que la hiperactividad y los problemas de aprendizaje en los niños podrían ser atribuidos a colorantes y conservantes artificiales en los alimentos. Para probar esta teoría, realizó un experimento eliminando todos los tintes artificiales de la dieta de los niños. Donde el resultado obtenido fue que el 73% de los niños mostraron una notable disminución de los síntomas. [2]

El colorante rojo No. 40 o Rojo Arulla perteneciente de los colorantes azoicos ya mencionados tiene una lista de efectos perjudiciales para la salud, La literatura científica proporciona pruebas en humanos y animales, así como información mecanicista, de que los c

Colorantes alimentarios sintéticos pueden causar o agravar problemas neuroconductuales en algunos niños. Los datos proceden de múltiples fuentes, entre ellas epidemiología, la neurotoxicología animal, los ensayos in vitro y de alto rendimiento que proporcionan y ensayos de alto rendimiento que proporcionan una visión mecanicista, apoyan que los colorantes pueden afectar al neurocomportamiento de algunos niños. [3]

OBJETIVOS

Objetivo General

Validar el método seleccionado para la extracción de antocianinas de los frutos rojos establecidos, verificando variables fisicoquímicas que permitan comparar su calidad frente al colorante azoico a comparar usando ciruela roja.

Objetivos Específicos

- Ajustar el método de maceración y filtrado alterando la concentración del solvente y la temperatura para obtener una extracción óptima de las antocianinas.
- Calificar los pigmentos obtenidos (antocianinas) con pruebas fisicoquímicas y sensoriales para compararlo frente al colorante rojo No. 40.
- Comparar el colorante obtenido frente al colorante rojo No. 40, en términos de viabilidad técnica y de costos.

PREGUNTA PROBLEMA

¿Las antocianinas de la ciruela sirven como una alternativa eficiente y segura frente al colorante rojo No. 40 en términos de coloración de alimentos?

JUSTIFICACIÓN

En una tesis de 2018 se consignó que un colorante fue "restringido", pero no prohibido, en ciertos países de la UE (Dinamarca, Bélgica, Francia, Alemania, Suiza, Suecia, Austria y Noruega) debido a su asociación con algunas afecciones en niños.[4] Además, un artículo de 2019 reportó que Reino Unido exhortaba a los países europeos a "prohibir voluntariamente el uso de colorantes en alimentos procesados" por motivos de seguridad alimentaria.[4] También informó que la industria alimentaria de Suiza, Bélgica, Francia y Dinamarca tiene "estrictamente controlado el uso de colorantes sintéticos y prohibido el uso de rojo allura" debido a afecciones como "daño cerebral, náuseas, enfermedades cardíacas, entre otros". Sin embargo, actualmente, Reino Unido, Francia, Noruega, Dinamarca y Suecia permiten su empleo. No se ha encontrado información oficial y actualizada sobre la situación del Rojo 40 en los demás países mencionados. [4]

A pesar de los estudios y literatura científica brindada solo se ha podido restringir el uso del Arulla Red AC, cuando su impacto es perjudicial para el ser humano. Así una de las alternativas que aparecen a flote son los pigmentos vegetales, entre ellas las antocianinas y las betalainas.

Estos compuestos, las antocianinas son flavonoides solubles en agua que se encuentran en las plantas y que producen una amplia gama de colores, como azul, púrpura, rojo y amarillo. Hay más de 540 tonalidades de antocianinas en la naturaleza, lo que las convierte en uno de los pigmentos más diversos y fáciles de extraer. Se conocen seis antocianinas principales: cianidina, delphinidina, petunidina, peonidina, pelargonidina y malvidina, que son esenciales en la alimentación humana. Por ejemplo, las manzanas y los higos c

contienen principalmente cianidina, mientras que otras frutas y vegetales, como las cerezas y los arándanos, contienen combinaciones de cianidina y peonidina. Las antocianinas se utilizan ampliamente para dar color a alimentos como gelatinas, dulces, rellenos orgánicos y confitería. En particular, las uvas se utilizan para dar un color púrpura a las bebidas, mientras que el café se usa para dar un color marrón oscuro a los alimentos.[5]

El objetivo de la investigación es seleccionar el sustrato que contenga las antocianinas (ciruela) y que no afecte la seguridad alimentaria. Los colores naturales son seguros para la salud, ya que tienen un bajo índice alergénico y los consumidores pueden consumir los alimentos producidos con estos ingredientes sin preocupaciones. Además, muchos de estos colores naturales proporcionan nutrientes al cuerpo, como la riboflavina, lo que los hace aún más atractivos para su uso en la industria alimentaria. En la actualidad, los colores naturales son bastante estables y no se degradan ni cambian de color al ser utilizados en alimentos. Esto permite elegir el colorante más adecuado según el producto y considerar variables como la base en la que se va a aplicar, ya sea grasa, agua, alcohol, glicerina, u otras. Como resultado, su aplicación en la industria alimentaria se está volviendo cada vez más común. [6]

Para ello se elaborará una extracción del pigmento a ciertas condiciones para no perjudicar en la extracción, ya que las antocianinas también son sensibles a la temperatura, lo que puede provocar cambios en su estructura molecular, incluida la pérdida del glicósido, lo que resulta en una pérdida de color. [7] Usando un sustrato que sea favorable por su ubicación y rico en este pigmento vegetal, para ello se seleccionó la ciruela ya que contienen varios antioxidantes, como la provitamina A, las antocianinas, algunos polifenoles y taninos, que les confieren su característico color rojo y, a veces, morado. Es importante destacar que cuanto más oscuro es el color del fruto, mayor es la presencia de estos elementos protectores. [8]. La ciruela es una especie vegetal capaz de vivir durante décadas en condiciones óptimas, y puede producir frutos de manera continua en zonas tropicales. Se considera un cultivo prometedor para regiones como Boyacá y otros departamentos de Colombia, debido a su adaptación a altitudes comprendidas entre 2.100 y 2.600 metr

os sobre el nivel del mar [9]

1. GENERALIDADES

1.1 Pigmentos, colorantes y colorimetría

Los colorantes son un compuesto orgánico que, al aplicarse en algún sustrato (alimento, fibra textil, entre otros), le atribuye un color de tonalidad oscura o clara según la afinidad del sustrato para absorber el color. Los colorantes suelen ser solubles en el medio en el que se aplican, en cambio, un pigmento es una sustancia con color e insoluble que se dispersa en un medio apropiado. [10]

Para ello existen varios tipos de colorantes, esto también determinado principalmente por su naturaleza ácida o básica de su grupo funcional, considerando las estructuras químicas generales y su estructura electrónica presente en ellos. Estas propiedades dependen de cómo interactúen en los sustratos ya que afecta su afinidad y capacidad de unión para producir el color deseado.

Hay colorantes neutros, básicos y ácidos usados en gran variedad para la coloración de varios sustratos, pero en la industria alimenticia se usan colorantes neutros para no afectar la seguridad alimentaria, no alteren el sabor, la textura o la calidad del producto final.

Los pigmentos, por otro lado, ya sean sustancias naturales o artificiales, no se disuelven en agua o aceite. Se utilizan para colorear, opacar o transparentar el color de un objeto, y su aplicación puede ser en una variedad de materiales, como pinturas, tintas, plásticos, cosméticos entre otros. Los pigmentos dan color a través de mecanismos como la absorción y reflexión selectiva de la luz, y son fundamentales en la creación de productos coloreados en distintas industrias.[11]

Se puede diferenciar un pigmento de un colorante por su origen y naturaleza química. Los colorantes son extraídos de fuentes naturales como plantas, animales (de origen natural) o de minerales procesados en un laboratorio. A diferencia de un pigmento que puede ser natural o artificial. [12]

Hay diferentes tipos de colorantes y pigmentos:

Tabla 1.

Tipos de colorantes y pigmentos

Colorantes	Pigmentos
Azoicos	Absorción
Antraquinona	Por absorción solo se ve un color y un brillo
Estilbenicos	o
Trifenilmetano	Metálicos
	Brillo superficial por la formación de metales

Acrílicos	Brillo perlado Semitransparentes con una reflexión múltiple de luz
Indol	

Nota. Tipos de colorantes y pigmentos. Tomado de: K. M. Meza Cherit and M. Elizabeth Magdalena, "La química orgánica y los colorantes."

Los colores se pueden definir en términos fisicoquímicos como resultado de las transiciones electrónicas de los átomos. Estas transiciones permiten dos fenómenos importantes: la absorción y la emisión de radiación en el espectro visible, que abarca desde aproximadamente 400 nanómetros hasta 700 nanómetros y es perceptible por el ojo humano. La absorción sucede cuando un átomo absorbe energía lumínica, mientras que la emisión ocurre cuando un átomo emite energía en forma de luz, gracias a estos procesos podemos percibir los colores del mundo que nos rodea.

Tabla 2.

Rangos de longitudes de onda para los diferentes colores

Rango de longitud de onda absorbida (nm)	Rango de longitud de onda emitido (nm)	Color percibido	Apreciación del color
-470-500	-700-620	Rojo	

-430-470	-620-592	Naranja	
-400-430	-592-578	Amarillo	
-610-700	-578-500	Verde	
-590-610	-500-450	Azul	
-570-590	-540-400	Violeta	

Nota. *Tabla de Colorimetría.* Tomado de: L. C. Corrales Ramírez and L. Caycedo Lozano, "Principios físicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología Principios físicoquímicos de los colorantes," Nova, vol. 18, no. 33, Feb. 2020, doi: 10.22490/24629448.3701.

1.1.1 Producción y tipos de colorantes en la industria alimentaria

La elaboración de los colorantes es un proceso que se ha llevado desde la antigüedad en la cultura humana en el ámbito artesanal hasta en los tiempos de hoy en día en la industria. La producción de los colorantes puede implicar una serie de procesos químicos como físicos para sintetizar, purificar, y formular los compuestos químicos que logran proporcionar el color deseado.

Se debe aclarar que la producción de colorante puede variar significativamente por el tipo o por como se quiera usar, ya que la fabricación de este varía según su demanda y especificaciones del cliente esto debido que existen varios colorantes tanto naturales, como sintéticos.

El mercado global de los colorantes alimentarios está segmentado por producto (color natural y color sintético), por aplicaciones (bebidas, productos lácteos y congelados, panaderías, carne, aves y mariscos, confiterías, salsas y condimentos y otros); y por la geografía en el cual se ofrece un informe en el tamaño del mercado y el pronóstico en términos millonarios para los segmentos anteriores. [13]

El mercado mundial de colorantes alimentarios están mayor mente dominado por algunas empresas líderes como, Chr Hansen, DD Williamson, DSM, Doehler Group, Nature, Fiorio Colori SPA y Kalsec. Estas compañías han consolidado su posición global mediante la adquisición o fusión con fabricantes en el extranjero, ampliando así su presencia geográfica. La estrategia principal de crecimiento es la expansión, seguida del desarrollo de nuevos productos para este mercado. [13]

En la Unión Europea, los colorantes alimentarios están regulados como aditivos, siguiendo un conjunto exhaustivo de normativas destinadas a mejorar los alimentos. Actualmente, se han autorizado 39 colorantes como aditivos para uso de alimentos en la UE. Este mercado continúa liderando debido a la creciente demanda de alimentos con etiquetas limpias y la creciente conciencia sobre la salud entre los consumidores. [13]

Figura 1.

Venta de colorantes alimenticios



Not

a. Venta global de colorantes. Tomado de: MORDOR intelligence, " *Tamaño del mercado de colorantes alimentarios y análisis de acciones tendencias y pronósticos de crecimiento (2023 - 2028)* ."

En la industria alimentaria, el color desempeña un papel crucial como factor de aceptación o rechazo y como criterio para seleccionar el alimento. Aunque el uso de colorantes n

aturales disminuyó con la revolución industrial, la tendencia actual es recuperarlos debido a las propiedades añadidas de las sustancias naturales. Además, el creciente interés en los movimientos naturalistas y productos “bio” ha impulsado la demanda de aditivos naturales en los productos consumidos. [14]

En cambio, la producción de colorantes naturales enfrenta desafíos debido a su rendimiento más bajo en comparación con los sintéticos. La industria busca mejorar este aspecto optimizando las técnicas de extracción. Además, es crucial considerar todo el ciclo de obtención y procesamiento industrial, incluyendo los materiales consumidos, con el objetivo de lograr un equilibrio energético y costos positivos, mientras se proporciona un valor añadido a los productos [14]

El color es un factor clave y se utiliza para conferir propiedades distintivas a los productos. Los colores naturales son sensibles a variables como temperatura, humedad y presión, lo que dificulta su manejo y hace que los colorantes sean una materia prima esencial. El desarrollo de procesos para obtener colorantes orgánicos es un tema de investigación importante tanto en el ámbito académico como industrial, con el objetivo de minimizar la contaminación y las impurezas. Aunque existen muchos procesos de extracción en plantas piloto, es necesario avanzar hacia el diseño conceptual para permitir la producción de colorantes en grandes cantidades. [15]

Los colorantes se clasifican en dos categorías principales según su fuente de obtención: artificiales y naturales. A su vez, los naturales se dividen en colorantes de fuente natural y alimentos colorantes. [16]

Colorantes artificiales: Obtenidos mediante síntesis química de fuentes minerales o derivados del petróleo, como el Azul brillante E133. Tienen límites de uso especificados por normativas como la Resolución 10593 de 1985 en Colombia y el Codex Alimentarius a nivel global.

Colorantes de fuente natural: Extraídos selectivamente de pigmentos presentes en fuentes naturales, como el Betacaroteno E160, que se obtiene principalmente de las zanahori

as.No tienen dosis restrictivas de uso. [16]

Alimentos colorantes: También conocidos como concentrados o extractos, se obtienen de la concentración o el extracto puro de frutas o vegetales sin añadir productos químicos, salvo agentes como la maltodextrina. Ejemplos incluyen extracto de remolacha (tonos rojos), concentrado de zanahoria (tonos naranjas y amarillos) y concentrado de papa morada (tonos rosas y morados). No tienen dosis restrictivas de uso. [16]

1.1.2 Colorantes sintéticos, colorante rojo 40 (fórmula química, Consumo, ficha técnica y propiedades fisicoquímicas)

Los colorantes se han utilizado desde tiempos antiguos en la industria alimentaria para mejorar la apariencia de los alimentos y hacerlos más atractivos. En la India y China, en el año 1500 a.C., se usaban extractos de especias y vegetales para colorear platillos. El vino se coloreaba ya en el 400 a.C. Hasta 1850, todos los colorantes añadidos a los alimentos eran de origen natural (vegetales, animales o minerales). Actualmente, también se utilizan colorantes artificiales. [17]

Los colorantes artificiales son sustancias obtenidas mediante síntesis química que contienen grupos cromóforos responsables de su coloración. Entre ellos se encuentran los colorantes azoicos, que presentan uno o más enlaces dobles nitrógeno-nitrógeno (grupo azo $N=N$). Estos colorantes suelen ser amarillos, naranjas, rojos o marrones. Ejemplos incluyen Carmoisina, Amaranto, Ponceau 4R, Amarillo anaranjado, Rojo 40 y Marron Pn. Los colorantes azoicos son la clase más grande y versátil de tintes sintéticos, utilizados en la industria textil, farmacéutica, cosmética y alimentaria, en productos como bebidas, dulces, helados, salsas y embutidos. El estudio de la exposición a colorantes alimentarios en niños y adolescentes se ha realizado en diversas partes del mundo, incluyendo Australia (FSANZ, 2008), Corea (Ha et al., 2013), Japón (Yamada e Ishiwata, 2000), India (Dixit et al., 2010), Hong Kong (Yuet-Wan Lok et al., 2010), Alemania (Diouf et al., 2014), Kuwait (Husain et al., 2006; Sawaya et al., 2008), Irlanda (Connolly et al., 2010), Brasil (Toledo et al., 1992), Italia (Fallico et al., 2011), Francia (Elhkim et al., 2007) y Estados Unidos. [1

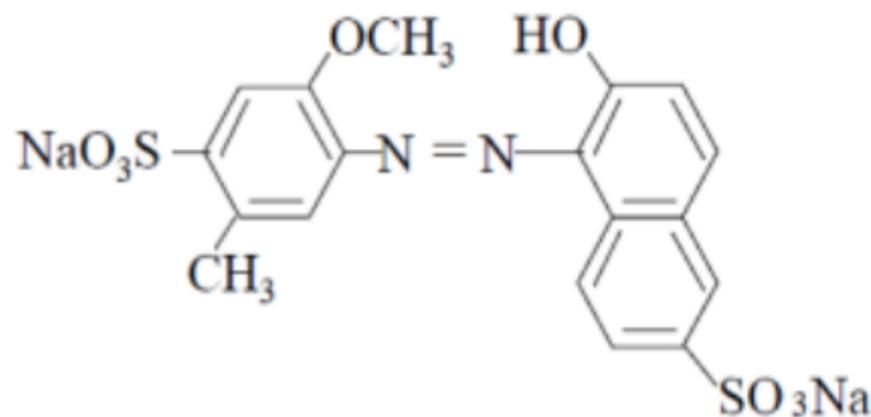
7]

El Rojo 40, conocido también como rojo allura, es un colorante aprobado por la FDA y producido por primera vez por Allied Chemical Corp en 1980. Fue evaluado en Estados Unidos por el Comité Científico de Alimentos (SCF) en 1984 y 1989, por el Comité Mixto FAO /OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), y por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) en 2010. Este colorante aniónico se usa ampliamente en la industria alimentaria, incluyendo bebidas, productos de panadería, cárnicos, polvos de postre, dulces, cereales, medicamentos, cosméticos y tintas de tatuajes. [17]

El Rojo 40 es denominado FD&C rojo No. 40 por la FDA y posee varios otros nombres, incluyendo rojo allura, rojo alimenticio 17, C.I. 16035, y otros nombres químicos más complejos. En la Unión Europea, se lista como aditivo E-129. Es un colorante ácido de la clase de los monoazos, con la fórmula química $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$ y un peso molecular de 496.42 g/mol. Tiene propiedades ácidas y una estructura aromática formada por tres anillos bencénicos. [17]

Figura 2.

Estructura química del colorante rojo 40



Nota. Venta global de colorantes. Tomado de: R. Dey García and 782900, "Consumo de alimentos con el colorante alimenticio rojo 40 y su remoción por enterobacterias de la microbiota intestinal,"

La toxicidad del colorante Rojo 40 ha generado controversia debido a posibles implicaciones para la salud humana. Aunque se afirma que el colorante es seguro con una Ingesta Diaria Admisibile (ADI) de 7 mg/kg de peso corporal por día, estudios han mostrado aumentos significativos en la migración del ADN nuclear en varios órganos de ratones expuestos a diferentes dosis de Rojo 40. Este efecto probablemente no se deba a la citotoxicidad general. [17]

El Rojo 40 tiene una Ingesta Diaria Admisibile (IDA) de 7 mg/kg de peso corporal al día, según la FDA, lo que equivale a 210 mg para un niño de 30 kg. Se estima que las empresas producen alrededor de 25 mg de Rojo 40 por persona diariamente, aunque este valor puede aumentar considerablemente debido a su amplio uso. Algunos países de la Unión Europea han restringido su uso. [18]

Tabla 3.

Propiedades físico químicas y características del colorante rojo 40.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS			
Propiedades	Unidad	Mínimo	Máximo
APARIENCIA FÍSICA			
Aspecto		Polvo fino inoloro de color rojo	
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Cloruro como sales de sodio (col.solubles)	%	0	10
Contenido de colorante puro (UV)	%	88	100
Contenido de colorante	%	90	100

puro, base seca			
Contenido de humedad l ámpara halógena 135 ° C	%	0	5
ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS			
Extractos etéreos	%	0	.2
Material insoluble en ag ua	%	0	.2
pH (Solución acuosa 1%)	Admi	6.5	9.5

Nota. Ficha técnica colorante rojo 40. Tomado de: "FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO FD &C ROJO No.40 NOVACOLOR FDA,"

1.1.3. Pigmentos de origen vegetal (definición tipos de colorantes que existen para el reemplazo del rojo 40 y estructura química de la antocianina)

Como se había mencionado los pigmentos son sustancias que le proporcionan un color a materiales o seres vivos. Los pigmentos naturales es la materia colorante se encuentran en los seres vivos. Por la estructura natural de algunos pigmentos están clasificados según su estructura molecular en carotenoides, flavonoides, antocianos y betalainas; quinónicos, los diarilmetanos curcumina y cuercuminoides; indigoides y derivados del indol, pirimidinas y tetrapirroles; porfinas [17]

Para la producción y obtención de colorantes se tienen de una forma diferente, en este apartado se va a hablar de los colorantes ya conocidos como la cochinilla, ácido carmínico o carmines que son idénticos o parecidos al colorante rojo 40.

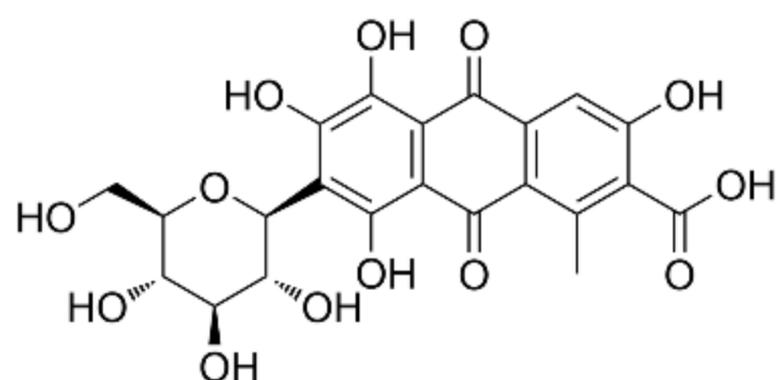
Para la obtención de estos el pigmento se extrae de los cuerpos disecados de la hembra

del insecto *Dactilopyus coccus* (cochinilla). Para su obtención se debe realizar ciertos pasos: Una recolección (Desprendimiento de los clalodios), sacrificio (inmersión en agua hi viendo o hexano, congelación o exposición a vapor de agua), secado ya sea al aire o en horno, desgrasado (extracción sólido-líquido con disolventes orgánicos), molienda y extracción la cual se debe realizar en medios acuosos, alcohólicos o acuosos-alcohólicos. [14]

El ácido carmínico es la sustancia que proporciona color, tiene una estructura de antraquinona y es soluble en agua y alcohol, pero insoluble en aceite. El color proporcionado depende del pH en el que se encuentre. En un entorno ácido, el color varía desde rojo hasta anaranjado, mientras que en un medio básico se vuelve violeta. A nivel de toxicidad una de las posibles contradicciones son las reacciones que pueden causar como la hipersensibilidad, pudiendo dar cuadros de asma síntomas gastrointestinales, urticaria, edema y deterioro renal. [14]

Figura 3.

Estructura del ácido carmínico



Nota. Ácido Cármino. Tomado de: D. Fernández Féas " *Colorantes naturales en industria farmacéutica y alimentaria*" tesis, Universidad Complutense, Madrid, ES, 2020

Las antocianinas se obtienen de frutas mediante la maceración o extracción de la piel o la parte carnosas con metanol o etanol, junto con una pequeña cantidad de ácido. Posteriormente, se pueden concentrar o purificar utilizando solventes orgánicos. Estas sustancias se encuentran en mayor concentración en la piel de uva negra, aunque también se pueden extraer de peras, ciruelas, manzanas, entre otros. Normalmente, están disueltas en la solución vacuolar de las células epidérmicas, aunque también pueden encontrarse en estructuras específicas llamadas antocianoplastos.[14]

1.2 Extracción de pigmentos vegetales

Las antocianinas son uno de los grupos de compuestos polifenólicos más investigados en la industria alimentaria. Se han perfeccionado los métodos de extracción, purificación y análisis de estos pigmentos, que no son estables en soluciones neutras o alcalinas. Para su extracción, se utilizan disolventes acuosos ácidos, comúnmente HCl (<1%) para acidular el disolvente. Los disolventes más usados son soluciones hidroalcohólicas con etanol o metanol, aunque también se emplean n-butanol, acetona fría, propilenglicol, mezclas de metanol/acetona/agua o agua hirviendo. La adición de ácidos orgánicos puede ser útil para extraer antocianinas poliaciladas complejas. La cantidad de agua añadida depende de la naturaleza de la muestra para asegurar una extracción completa. [20]

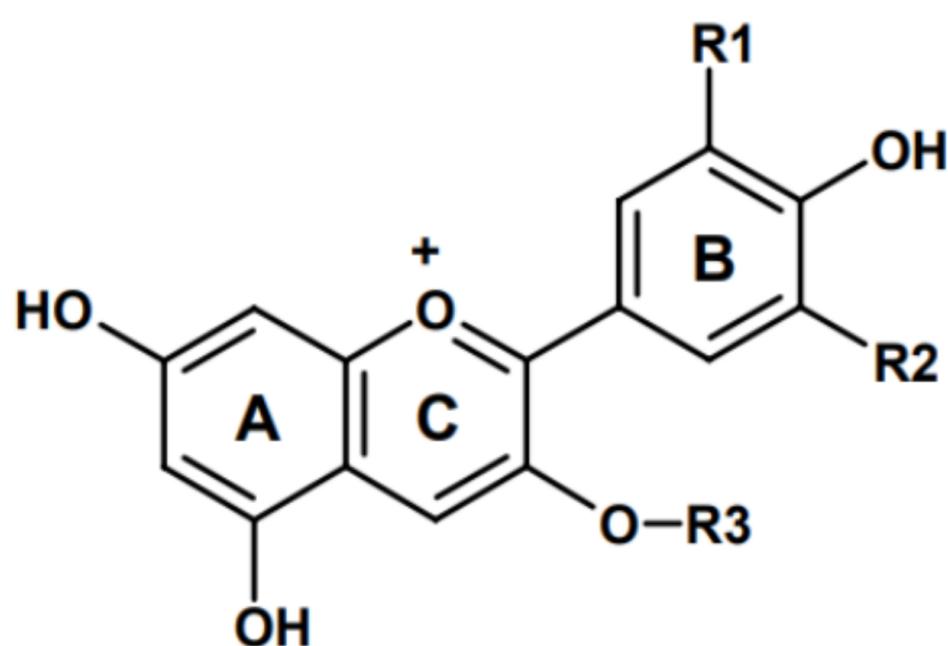
Para aplicaciones alimentarias, se prefiere el etanol debido a su baja toxicidad, a pesar de su menor capacidad de extracción y dificultad de eliminación posterior. Después de la extracción, cualquier proceso de concentración debe realizarse a bajas temperaturas (por debajo de 30°C) y preferentemente al vacío para minimizar la degradación de las antocianinas [20]

Las antocianinas son el grupo más grande de pigmentos hidrosolubles en el reino vegetal, responsables de los colores de muchas flores, frutos y hojas de las angiospermas. Aunque comúnmente asociadas con frutos rojos, también se encuentran en verduras, raíces, legumbres y cereales. Químicamente, son glucósidos de flavilio o 2-fenilbenzopirilio, basados en seis antocianidinas principales: pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina y malvidina. Los azúcares asociados a estos compuestos suelen ser gluco

sa, ramnosa, galactosa o arabinosa, y pueden estar presentes como unidades mono y di sacaridos, aciladas con ácidos fenólicos o alifáticos. Estas antocianinas varían en el patrón de sustitución de grupos metoxilo e hidroxilo en el anillo B. [20]

Figura 4.

Estructuras de los principales antocianos-3-O-glucósidos presentes en las frutas



Nota. Estructura básica de las antocianinas. Tomado de: F. J. Francis and P. C. Markakis, "Food colorants: Anthocyanins," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 28, no. 4, pp. 273–314, Jan. 1989

Tabla 4.

Longitud de onda del máximo de absorción en la región visible

Anthocyanin	R1	R2	λ_{\max} (nm)	
			R3=H	R3=gluc
Delphinidin	OH	OH	546	541

Petunidin	OH	OCH ₃	543	540
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	542	538
Cyanidin	OH	H	535	530
Peonidin	OCH ₃	H	532	528
Pelargonidin	H	H	520	516

Nota. Longitudes de onda. Tomado de: F. J. Francis and P. C. Markakis, "Food colorants: Anthocyanins," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 28, no. 4, pp. 273–314, Jan. 1989

Aunque existen seis antocianidinas comunes, se han aislado un total de 539 antocianidinas de plantas, 277 de ellas identificadas después de 1992. Las antocianinas más comunes en las frutas están glicosiladas en la posición 3-OH (3-O-monoglucósidos) y, en menor medida, en ambas posiciones 3-OH y 5-OH (3,5-O-diglucósidos). Las características cromáticas de las antocianinas se ven significativamente afectadas por el patrón de sustitución del anillo B. Por ejemplo, un aumento en la hidroxilación provoca un desplazamiento del color rojo al violeta (de Pelargonidina a Cianidina a Delfinidina). La naturaleza del azúcar (como glucosa, arabinosa, rutinosa, sambubiosa), si está acilada o no, y su posición en el esqueleto de la aglicona también influyen en el tono de color de estos pigmentos, variando entre especies. [20]

También se consultó qué alimentos contienen antocianinas y qué cantidad. Para ello se buscó por preferencias frutos rojos para el proyecto y se hizo una selección del sustrato, como materia prima innovadora y con una alta producción en Colombia se escogió la ciruela (plum).

Tabla 5.

Cantidad media de antocianinas en algunos alimentos

Anthocyanin Source	Amount (mg. litre ⁻¹ or mg kg ⁻¹)
Blackberry	1150
Blueberry	825-4200
Boisenberry	1609
Cherry	20-4500
Chokeberry	5060-10000
Cranberry	600-2000
Cowberry	1000
Currant (black)	1300-4000
Elderberry	2000-10000
Red grapes	300-7500
Blood Orange	2000
Plum	20-250
Sloe	1600
Strawberry	150-350
Raspberry (black)	1700-4277
Eggplant	7500
Onion	up to 250
Rhubarb	up to 2000

Red cabbage	250
Red wine	240-350
Port wine	140-1100

Nota. Cantidad de antocianinas de algunos alimentos. Tomado de: F. J. Francis and P. C. Markakis, "Food colorants: Anthocyanins," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 28, no. 4, pp. 273–314, Jan. 1989

1.2.1 .Definir cada matriz a emplear

Ciruela Roja Común (*Prunus Domestica*)

Es una fruta jugosa y dulce, con un sabor característico por su color rojo intenso tanto en la piel como en la pulpa de la fruta cuando está madura. En Colombia, el cultivo de ciruela se suele establecer para comercializar en zonas entre 1800 y 2450 m de altitud. Donde los principales productores son Boyacá y Cundinamarca. Las diversas variedades de ciruelas se caracterizan por su capacidad de adaptación en diferentes altitudes. Uno de los municipios que se consideran con mayor producción en el departamento de Boyacá son Nuevo Colón, con un rendimiento de 19 t/Ha, que representa el 40 % del total producido. [21]

Dependiendo de su variedad la ciruela es demasiada rica en nutrientes y vitaminas, aparte de poseer mucha fibra tiene propiedades nutricionales que protegen la salud de nuestro organismo aportando calcio, potasio, cobre, zinc y vitamina A, C y K. [22]

Tabla 6.

Valor nutricional de la ciruela roja en 100 g

Valor nutricional (por 100 gramos)	
Calorías	48.10 kcal
Grasas totales	0.17 g
Colesterol	0 mg
Sodio	1.70 mg
Hidratos de carbono	10.2 g
Proteínas	0.63 g
Agua	85%
Carbohidratos	12%
Otros compuestos bioactivos	3%

Nota. Cantidad de antocianinas de algunos alimentos. Tomado de: La vanguardia, "Ciruela: beneficios, propiedades y valor nutricional."

Prunus domestica L. es un árbol caducifolio e inerte de hasta 10m. Las hojas van en disposición alterna o formando haces en los brotes cortos, son simples, de forma elíptica, con peciolo corto y margen festoneado. Las flores van provistas de largos cabillos, solitarias o en ramilletes. Son de color blanco o blanco verdoso y tienen cinco pétalos ovalados, libres de 7 a 15mm; estambres numerosos, insertos en varias filas junto a los pétalos. El pistilo produce al madurar una drupa globosa o alargada de color que puede variar entre púrpura oscuro, rojo, verde o amarillento. [22]

Figura 5.

Ciruela Roja Común "*Prunus Domestica*"



Nota. En la ciruela se visualiza Ciruelas "*Prunus Domestica*"

1.2.2 Métodos de extracción (tipos de extracciones)

Las antocianinas se usan bastante como colorante natural y aditivo nutricional en productos alimentarios. La extracción de antocianinas es habitualmente llevada a cabo mediante la maceración o molido repetido, utilizando pequeñas cantidades de ácido clorhídrico (HCl) en metanol o etanol a temperatura ambiente, o en casos más complejos, en frío, utilizando ácidos débiles para prevenir la degradación del pigmento. [23]

La técnica asistida para la extracción es por medio del ultrasonido que es una técnica altamente eficaz y simple para obtener antocianinas de alta calidad. El uso de sonicadores tipo sonda facilitan la liberación de estas antocianinas de alta calidad de las plantas, lo que resulta en un mayor rendimiento y un proceso más rápido. [23]

Tabla 7.

Ventajas y desventajas métodos de extracción

Método de extracción	Procedimiento	Ventajas	Desventajas
Arrastre por solvente en frío	La extracción de antocianinas es habitualmente llevada a cabo mediante la maceración o molido repetido, utilizando pequeñas cantidades de ácido clorhídrico (HCl) en metanol o etanol a temperatura ambiente, o en casos más complejos, fríos. [23]	<ul style="list-style-type: none">• Tiene una alta eficiencia de atracción que puede lograr una extracción completa de los componentes deseados de una muestra, lo que resulta en altos rendimientos de recuperación. [23]• Tiene una selectividad que permite la extracción selectiva de los componentes de interés, lo que facilita la separación y purificación de compuestos específicos de una mezcla compleja. [26]• Tiene una gran v	<ul style="list-style-type: none">• Puede tener toxicidad ya que los solventes utilizados pueden ser tóxicos o perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. [26]• Puede haber una contaminación cruzada entre muestras debido al uso repetido de solventes o equipos de extracción, lo que puede afectar la precisión y la reproducibilidad de los resultados. [25]• Tiene un gran consumo de solvente ya que puede

		<p>ersatilidad para extraer una amplia gama de compuestos químicos, desde moléculas orgánicas simples hasta compuestos más complejos como biomoléculas. [25]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso escalable para adaptarse a diferentes volúmenes de muestra, desde pequeñas cantidades en laboratorio hasta producción a gran escala industrial [23] • Tiene un bajo costo por los equipos y materiales para el arrastre por solventes suelen ser relativamente económicas en comparación con otras técnicas de extracción más complejas [26]. 	<p>de requerir grandes cantidades, lo que puede resultar en grandes costos significativos y en la generación de grandes volúmenes de residuos solventes. [25]</p>
--	--	---	---

<p>Arrastre por solvente en caliente</p>	<p>La extracción de antocianinas por arrastre por solvente en caliente maneja la misma metodología de la extracción en frío, con la diferencia de aplicar calor al solvente a una temperatura específica a cerca del punto de ebullición, utilizando el método de baño maría, un sistema de calentamiento eléctrico u otros dispositivos de calentamiento [27]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una mayor eficiencia ya que el calor aumenta la solubilidad de los compuestos o en el solvente, lo que facilita una extracción más completa y eficiente de los componentes de interés de la muestra. [23] • Tiene una mayor velocidad de extracción, ya que la temperatura elevada acelera la velocidad de las reacciones de extracción, lo que resulta en un proceso más rápido. [27] • Aumenta el rendimiento de la extracción ya que al aplicar calor puede descomponer las estructuras celulares de la muestra, liberando más eficazmente 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor riesgo de degradación por que algunos compuestos son sensibles al calor y se pueden descomponer durante la extracción y afectar la calidad y la integridad de los productos extraídos [27] • Algunos compuestos volátiles pueden perderse durante el proceso de extracción en caliente debido a la evaporación, lo que puede afectar la cantidad y la composición de los productos extraídos. [27] • El proceso de calentamiento del solvente requiere energía adicional, lo que puede aumentar los costos operativos y el impacto ambiental en el
--	--	---	--

		<p>nte los compuestos objetivos [23]</p> <ul style="list-style-type: none"> • La extracción en caliente reduce el tiempo necesario para alcanzar la atracción completa en comparación con la extracción en frío, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad del proceso. [23] 	<p>proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El calentamiento también puede dificultar el proceso de extracción ya que puede requerir equipos más sofisticados lo que puede aumentar los costos y la dificultad de la operación. [23]
Ultrasonido	<p>Es una técnica altamente eficaz y simple. Con el uso de sonicadores tipo sonda facilitan la liberación de componentes orgánicos del sustrato vegetal.[24]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El ultrasonido facilita la ruptura de las paredes celulares del sustrato vegetal facilitando la liberación de antocianinas y otros compuestos bioactivos. Teniendo como resultado una extracción más completa [24] • Aumenta la transferencia de masa lo que resulta en tiempos de e 	<ul style="list-style-type: none"> • La adquisición del equipo de ultrasonido puede requerir una inversión significativa comparada con los otros métodos de extracción [26] • Su uso demanda un alto consumo de energía eléctrica, lo que puede aumentar los costos operativos a largo plazo [24]

		<p>extracción más cortos en comparación de otros métodos. [26]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se adquiere una mayor concentración de pigmentos en los extractos al mejorar el rendimiento de las antocianinas [28] • Tiene un menor consumo de solventes para el proceso [28] • Es un método suave que opera a temperaturas moderadas, lo que ayuda preservar la integridad y las propiedades funcionales de estos compuestos bioactivos [24] 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede degradar compuestos simples ya que genera calor localizado en la muestra y si no se controla perder lo que se busca [24] • Aunque es efectivo a pequeña escala, puede haber limitaciones a gran escala por condiciones de costo, tiempo y eficiencia. [28]
--	--	--	---

Nota. Ventajas y desventajas de las diferentes formas de extracción. Tomado de: "6. METODOS 6.1 Extracción de la antocianina," Jun. 2004. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lqf/quintero_h_cm/capitulo6.pdf; "Ultrasonic Homogenizers for Liquid Processing," *Hielscher Ultrasound Technology*. <https://www.hielscher.com/ultrasonic-homogenizers-for-liquid-processing-3.htm>; Á. Zarate, "Extracción por solvente lista," *SlideShare*, Jan. 16, 2015. <https://es.slideshare.net/slideshow/extraccion-por-solve>

nte-lista/43584861 (accessed May 02, 2024); E. Ramos, "antocianinas: revisión bibliográfica de su procesamiento y potencial uso como colorante natural en alimentos," Aug. 2021. Accessed: May 02, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/185067/Antocianinas-revision-bibliografica-de-su-procesamiento.pdf?sequence=1>; B. Elizabeth *et al.*, "Extracción de antocianinas procedentes del repollo morado (*Brassica oleracea*) como sustitutos de los indicadores de pH de origen sintético," Jul. 2021. Available: <https://www.car.gov.co/uploads/files/620ea45df0e30.pdf>; E. Corona-Jiménez *et al.*, "Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante," *Agrociencia*, vol. 50, no. 4, pp. 403–412, Jun. 2016, Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400403

1.2.3 Cuantificación de las antocianinas

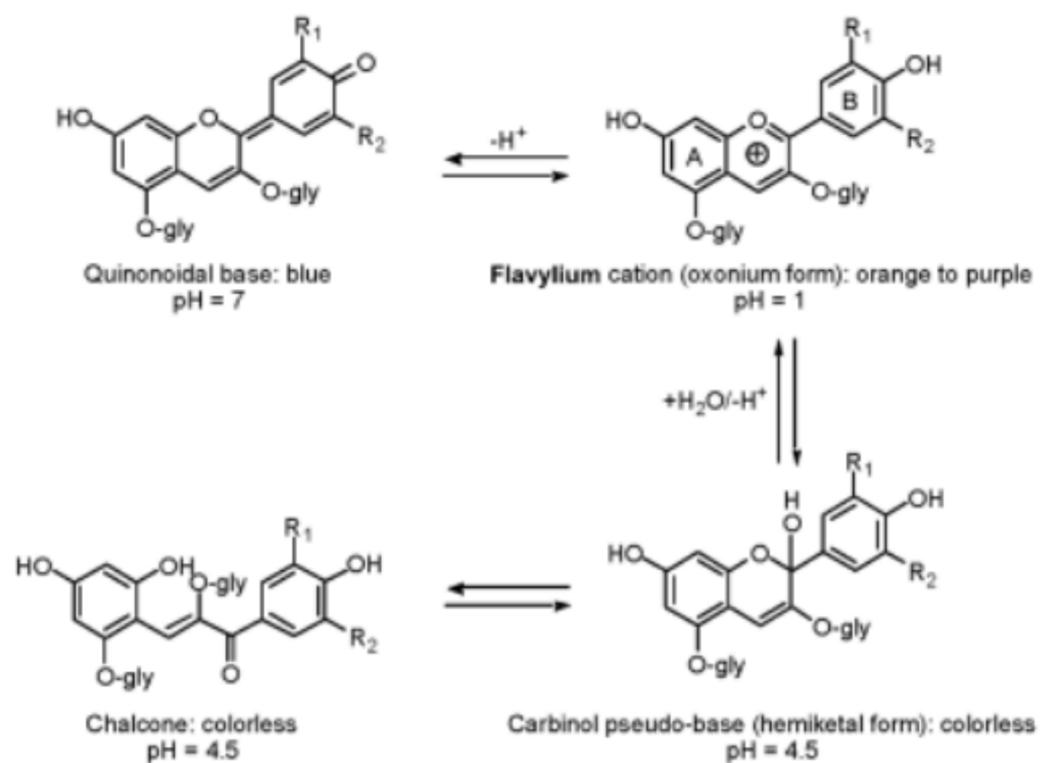
Los pigmentos antociánicos son cruciales para la calidad de los alimentos debido a su contribución al color y aspecto. Hay un interés creciente en el contenido de antocianinas en alimentos y nutraceuticos por sus posibles beneficios para la salud. El contenido de estos pigmentos también es útil para el control de calidad y las especificaciones de compra de zumos de frutas, nutraceuticos y colorantes naturales. Se necesita un método AOAC para determinar de forma rápida y precisa el contenido total de antocianinas monoméricas. El objetivo es diseñar, organizar y llevar a cabo un estudio colaborativo para validar el método de pH como método AOAC. [29]

Norma AOAC (Método oficial 2005.02 sobre el contenido total de pigmentos antociánicos monoméricos de zumos de frutas, bebidas, colorantes naturales y vinos)

Las antocianinas son responsables de las tonalidades rojas, púrpuras y azules en frutas, verduras y cereales. Existen seis antocianidinas comunes (pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina y malvidina) cuyas estructuras pueden variar por sustitución glucosídica en las posiciones 3 y 5. Otras variaciones ocurren por la acilación de los grupos de azúcares con ácidos orgánicos como se puede observar en la figura 4 [29]

Figura 6.

Formas estructurales predominantes de las antocianinas presentes a distintos niveles de pH

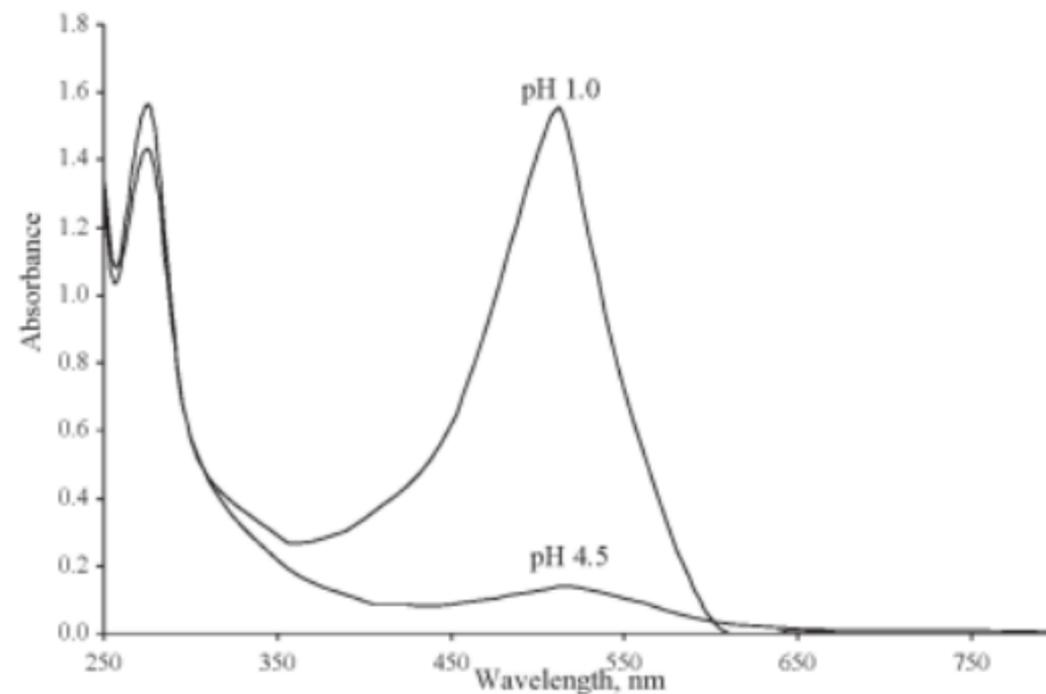


Nota. Formas estructurales predominantes de las antocianinas. Tomado de: J. Lee et al., "Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study," J AOAC Int, vol. 88, no. 5, pp. 1269–1278, Sep. 2005

El método del pH diferencial ha sido ampliamente utilizado por horticultores para evaluar la calidad de frutas y verduras frescas y procesadas. Este método permite determinar el contenido total de antocianinas monoméricas, basándose en el cambio estructural del cromóforo de la antocianina entre pH 1,0 y 4,5. Se utiliza principalmente en la investigación y el control de calidad de zumos de fruta, vinos, colorantes naturales y otras bebidas. [29]

Figura 7.

Características espectrales de la antocianina
antocianina en tampones a pH 1,0 y 4,5



Nota. Características espectrales. Tomado de: J. Lee et al., "Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study," J AOAC Int, vol. 88, no. 5, pp. 1269–1278, Sep. 2005

El concepto de medir la cantidad de antocianinas presentes en un material midiendo el cambio de absorbancia a dos valores de pH diferentes (3,4 y 2,0) fue introducido por primera vez por Sondheimer y Kertesz en 1948. Desde entonces, los investigadores han propuesto usar los valores de pH 1,0 y 4,5. Las antocianinas monoméricas sufren una transformación estructural reversible según el pH: están en forma oxónica coloreada a pH 1,0 y en forma hemiketal incolora a pH 4,5. Así, la diferencia de absorbancia en el vis-max (a lrededor de 520 nm) del pigmento es proporcional a su concentración. Las antocianinas degradadas en forma polimérica son resistentes al cambio de color con el cambio de pH, por lo que los pigmentos antociánicos polimerizados no se miden con este método, y a que absorben tanto a pH 4,5 como a 1,0. La absorbancia debe medirse en el vis-max de la solución de pigmento, y el contenido de pigmento se calcula utilizando el peso molecular (MW) y el peso molar.[29]

1.3 Seguridad alimentaria

Para hablar de la seguridad alimentaria se enfocará en el pueblo colombiano, ya se ha mencionado antes entidades como la FAO y las prohibiciones que ha hecho frente a los colorantes sintéticos. En la constitución colombiana la Resolución 10593 de 1985 establece regulaciones sobre el uso de colorantes en alimentos destinados al consumo humano o en Colombia. Esta resolución especifica los colorantes permitidos, sus dosis máximas de uso, y las condiciones en las que deben ser utilizados. Además, establece requisitos para la importación, producción, almacenamiento, transporte, y comercialización de alimentos que contienen colorantes. La normativa también incluye disposiciones sobre el etiquetado de los productos alimenticios que contienen colorantes, asegurando que los consumidores estén debidamente informados sobre su presencia. Se establecen requisitos para la presentación de información en etiquetas, incluyendo la lista de ingredientes y la identificación clara de los colorantes utilizados.[30]

El INVIMA evalúa el uso del colorante Rojo 40 en alimentos y bebidas, considerando su seguridad para la salud humana. Esto implica analizar estudios toxicológicos, evaluaciones de riesgos y recomendaciones de organismos internacionales como la Autoridad Euro

pea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA).

La situación planteada involucra una preocupación sobre la correcta autorización y comercialización de productos alimenticios para consumo humano en Colombia. Se ha detectado una discrepancia entre los certificados de no obligatoriedad emitidos por el INVIMA y la forma en que estos productos están siendo comercializados y exhibidos al público por parte de los establecimientos gastronómicos. La confusión radica en que, aunque los certificados permiten la producción y comercialización de estos productos para uso en el sector gastronómico, se ha observado que están siendo vendidos directamente al público en general. Esto plantea dudas sobre si estos productos requieren alguna autorización específica de comercialización por parte del INVIMA, como el registro sanitario, permiso sanitario o notificación sanitaria, o si están excluidos de dicha autorización. Ante esta situación, es necesario aclarar y definir claramente los requisitos y regulaciones que aplican a estos productos, así como fortalecer las acciones de inspección, vigilancia y control por parte de las Entidades Territoriales de Salud para garantizar el cumplimiento de las normativas sanitarias y proteger la salud pública. [31]

Como último el INVIMA establece ciertas normas de calidad y pureza para los colorantes, no hay una prohibición absoluta sobre ellos pero sí una regulación para su consumo y el cuidado de la inocuidad de los alimentos.



Tabla 8.

Normas de identidad y pureza de los colorantes artificial permitidos para alimentos

TECNICO	NOMBRE QUIMICO	Color Index 1971	Con Teni do de colorante % mínimo	Sustancias volátiles a 135°C máximo	Sustancias insolubles en agua % máx.	Extractos éteres % máximo	Clo ruo y sul fato de sodio % máx	Colorantes subsidiarios % máximo	Mercurio como Hg mg/kg máximo	Arsénico como AS mg/kg máximo	Plo mo como Pb mg/kg máximo	Cobre como Cu mg/kg max	Cromo como Cr mg/kg max.	Antimonio como mg/kg max	Zinc como Zn mg/kg max	Bario sulfato mg/kg max.
TARTRAZINA Fd y C Amarillo No.5	Sal trisódica del ácido 5-Hidroxi-1-p-sulfosencil 4-(P-sulfosencilazo) Pirazol-3- Carboxílico	19140	85	10	0,2	0,2	6,0	1,0	1	3	10	10	100	100	50	100
AMARILLO OCASO FCF Fd y C Amarillo No. 6	Sal sódica del ácido 1-(4-sulfosencilazo) -2 Matfol-6 sulfónico	15985	85	10	0,2	0,2	5,0	3,0	1	3	10	10	100	100	50	100
AMARILLO DE QUINOLEINA	Sal disocian del ácido disulfónico de la 2- (2-Quinolil) - 1,3 Indandiona	47005	85	10	0,2	0,2			1	3	10	10	100	100	50	100
AMARILLO DE QUINOLEINA	Sal disódica del ácido disulfónico de la 2- (2-Quinolil) - 1,3 Indandiona	42090	85	10	0,2	0,2	5,0	5,0	1	3	10	10	20	100	50	100
AZUL BRILLANTE FCF Fd y C Azul No. 1	Sal disódica de 4 [(n-Etil-p-sulfo- benzilamino)-fenil]- (2-sulfoniumfenil) metileno) - [N-etil-N-p-sulfobenzil] A 2,5 - ciclohechadienimina.	73015	85	10	0,2	0,2	7,0	1,0	1	3	10	10	100	100	50	100
INDIGO CARMIN O INDIGOTINA Fd y C Azul No. 2	Sal disódica del ácido indigotín 5,5' - Disulfónico	28440	70	10	0,2	0,2		15	1	3	10	10	100	100	50	100
NEGRO BILLANTE BN	Sal tetrasódica de 2-[4-(P-sulfofenilazo)-7 sulfo-1-naftilazo]-8- Acetamino 1-Naftol-3,5, ácido disulfónico.	16035	85	10	0,2		4,0	1,0	1	3	10	10	100	100	50	100
ROJO Y ALLURA Fd y C ROJO No. 40	Sal disódica de ácido 5-(2-Netoxi 5 Metil-4-sulfofenilazo)-6- hidroxil-2-naftaleno sulfónico	16185	85	10	0,2	0,2	5,0	4,0	1	3	10	10	100	100	50	100
AMARANTO Fd y C Rojo No. 2	Sal trisódica del ácido 1- (4-sulfa-1- Neftilazo) 2- naftol-3,6 - disulfónico	14720	85	10	0,2	0,2	5,0	1,0	1	3	10	10	100	100	50	100
AZORRUBINA O CARMOISINA	Sal disódica del ácido 2- (4-sulfo-1- naftilazo) -1- Naftol-4-sulfónico.	45430	85	10	0,2	0,2	5,0	4,0	1	3	10	10	100	100	50	100
ERITROSINA Fd y C ROJO No. 3	Sal disódica o dispotásica de la letra todofluoresceína	16255	80	10	0,2	0,2	8,0	2,0	1	3	10	10	100	100	50	100
ROJO COCHINILLA 6 PUNZO 4 R	Sal disódica del ácido 2- (4-sulfo-1- naftilazo) -1- Naftol-4-sulfónico.	42053	85	10	0,2	0,2	5,0	5,0	1	3	10	10	50	100	50	100
VERDE RAPIDO FCF Fd y C Verde No. 3	Sal disódica de 4[(e-(N-etil-p-sulfo- fenbenzilamino)-fenil)- (4-hidroxi(2 sulfoniumfenil) metileno))-(1-N-etil-N-p-sulfobenzil)- A-2,5-ciclohexadienmina	20285	68	10	0,2	0,2		15,0	1	3	10	10	100	100	100	100
MARRON NT	Disodio 4,4 (2,4 hidróxi-5-hidroxi metil -),3 fenitene bisazo) di (naftaleno-1-sulfonato)															

Nota. Normas de identidad y pureza de los colorantes artificial permitidos para alimentos. Tomado de: "Entidades territoriales | INVIMA," Invima.gov.co, 2015. <https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/entid>

ades-territoriales (accessed May 28, 2024).

1.4. Pruebas organolépticas

El análisis organoléptico es un proceso que implica describir las características físicas de una sustancia basándose en lo que se percibe con los sentidos. En el caso de los alimentos, se evalúan cualitativamente aspectos como el olor, sabor, apariencia y textura para determinar su calidad. Este tipo de análisis es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la satisfacción del consumidor, ayudando a identificar posibles problemas y asegurando que los alimentos cumplan con los estándares de calidad. [33]

Para realizar esta prueba se planea utilizar un alimento, para la selección de este se considera la estabilidad de la antocianina, ya que dependiendo del pH que se encuentre este tiene consecuencias en su coloración. Cuando el pH está cerca de entornos muy ácidos el pigmento tiende a tornarse rojo debido a la alta concentración del catión flavilio, que es estable en entornos altamente ácidos. Debido que el pH aumenta a valores entre 2 y 4, otras especies, como las formas quinoidales, se vuelven más predominantes dando a lugar un color azul. Estos cambios de color reflejan la transición de una especie química a otra según el nivel de acidez o alcalinidad según donde se aplique. Para valores entre 4 y 6 de pH se establece un equilibrio entre la pseudobase carbinol y la forma chalcona, siendo ambas incoloras. [34]

Así se selecciona alimentos con alta acidez, estos son comestibles y bebidas con un pH por debajo de 4.6, se consideran alimentos ácidos. En este grupo se incluye productos como el agua carbonatada, los refrescos, las bebidas energéticas, ciertos lácteos como el yogurt, cereales, azúcares, alcoholes y algunas carnes como las altas en grasa. [35]

El propósito de usar la cerveza como un alimento para la prueba organoléptica más allá de la acidez de su pH, es como a nivel comercial se ha implementado para ser más llamativa. Esto debido por el "efecto Instagram", ha generado una alta demanda de bebidas de colores brillantes, especialmente entre los millennials y la generación Z. Los tonos rosados son especialmente populares en ginebras, vinos y espumantes, pero también en spritzers y vodkas. Las cervezas con colores vibrantes, como los tonos rojos, no solo destacan en los estantes, sino que también ofrecen una experiencia de consumo más atractiva

2.OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LOS FRUTOS ROJOS

2.1 Introducción

Recientes investigaciones han dirigido su atención a los frutos rojos para el reemplazo de los colorantes sintéticos debido a su color llamativo, considerándolos como alternativas viables por sus beneficios en la salud, especialmente por medio de las antocianinas. Estos compuestos polifenólicos son los responsables de aportar las tonalidades rojas, moradas o azules presentes en distintas frutas, verduras y flores.

En este capítulo se busca describir el método de extracción de los pigmentos a base de antocianinas considerando los sustratos empleados. Se abordan aspectos como materiales empleados, el procedimiento, proporciones del solvente, tiempo de exposición del solvente al sustrato y el tipo de filtración empleado. Con esto se busca analizar el impacto de cada uno de los factores previamente mencionados con el fin de optimizar las condiciones de extracción y así mismo mejorar la calidad y la estabilidad de los extractos obtenidos.

2.2 Procedimiento de extracción de pigmentos naturales de la ciruela roja

Para la extracción de las antocianinas en la ciruela se utiliza la metodología de arrastre por solvente en frío, con el propósito de extraer todos los pigmentos y compuestos bioactivos. Para ello se utiliza un solvente de la misma polaridad que estos compuestos para arrastrarlos con facilidad, entre los solventes más usados en la industria tenemos el metanol y etanol. Para la experimentación realizada se utilizará etanol a diferentes concentraciones para evaluar su rendimiento en la extracción de antocianinas.

Para el diseño experimental se usó la guía de los siete pasos, así se pudo identificar el problema el cual es la manera de no poder ajustar bien la extracción de las antocianinas, p

ara ello se identifican las variables que se mantendrán constantes, a controlar y las que no, y la variable de respuesta. Inicialmente se establecieron las variables a usar en la experimentación, entre ellas la temperatura como una variable controlable la cual se modificó a variable constante por bibliografía, la cual nos dice que las antocianinas son susceptibles a la degradación térmica por incremento de temperaturas.

Elección de los factores, niveles y rasgos

Variables ctes

- Solvente
- Relación sustrato-solvente
- Temperatura

Variable no controlable

- El tiempo

Variables controlables

- Concentración

Selección de la variable de respuesta

- Cantidad de pigmento e intensidad de color

Diseño de experimentos: #Réplicas

Tabla 9.

Diseño de experimentos

Concentración	Tratamiento
96%	1
80%	2
50%	3

Nota. Tabla diseño de experimentos para la concentración.

#Réplicas: 1

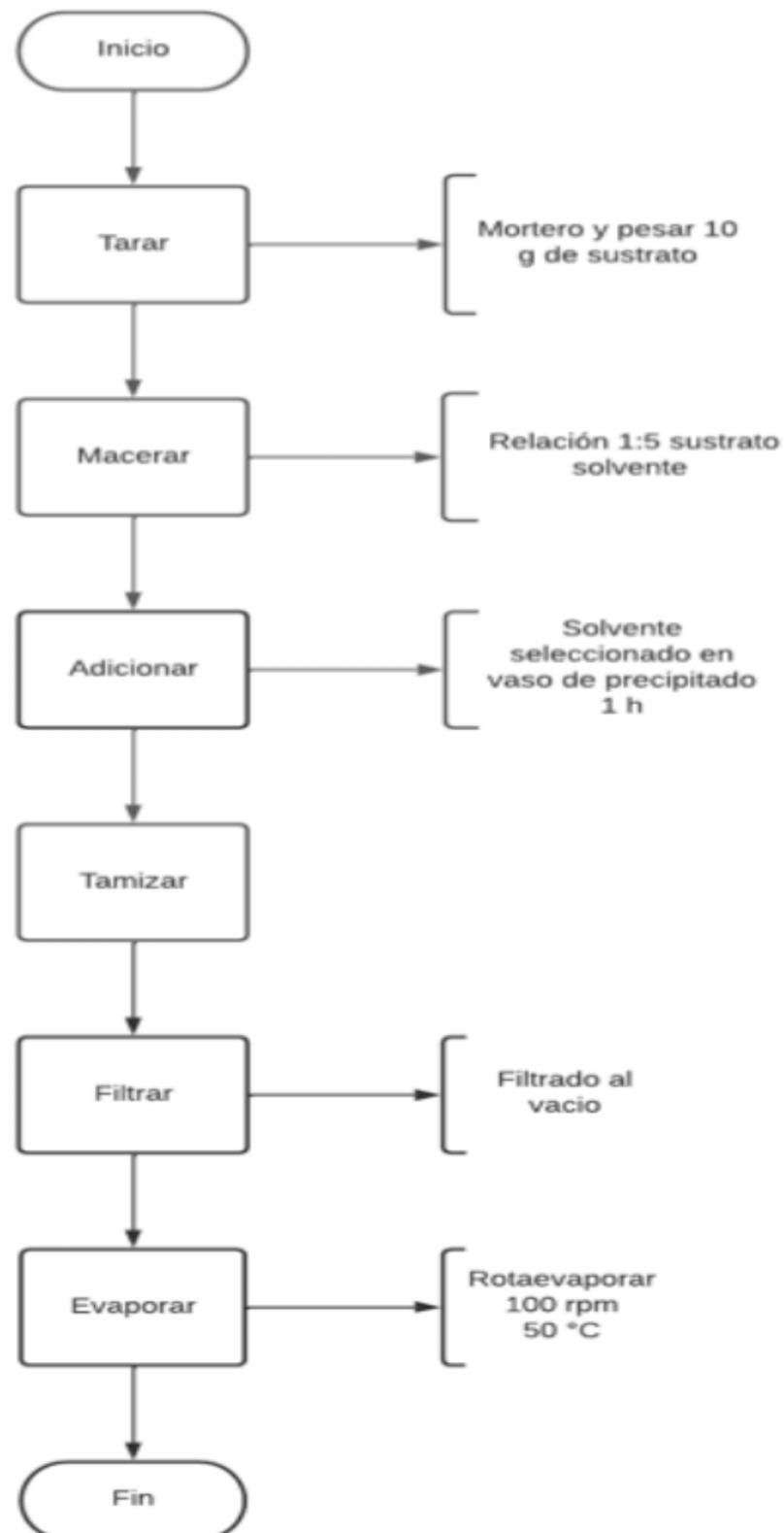
Total de experimentos: 6

Se hace una sola réplica por cuestión de tiempo y materiales, lo cual fue suficiente para la extracción y cuantificación de las antocianinas. Para que se pueda seguir esto es obligatorio realizar la experimentación con el mismo lote de materia prima, es decir se recomienda hacer el ensayo experimental y la réplica con la misma materia prima para que los resultados tengan relación.

Diagrama de flujo

Figura 8.

Diagrama de flujo proceso arrastre de vapor en frío



Nota. Diagrama de flujo procedimiento de la extracción

2.2. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales de la ciruela roja

Para el remplazo del colorante rojo 40 se usaron las ciruelas, justificado por todo lo ante

rior. Siguiendo la metodología planteada se inicia una maceración del sustrato, para ello se hace con la cascara de la ciruela para obtener un color rojo más intenso a comparación de la pulpa. Esto se deduce tras una experimentación previa en la que se maceró con cascara y pulpa.

Figura 9.

Sustrato obtenido con cáscara y pulpa de la ciruela

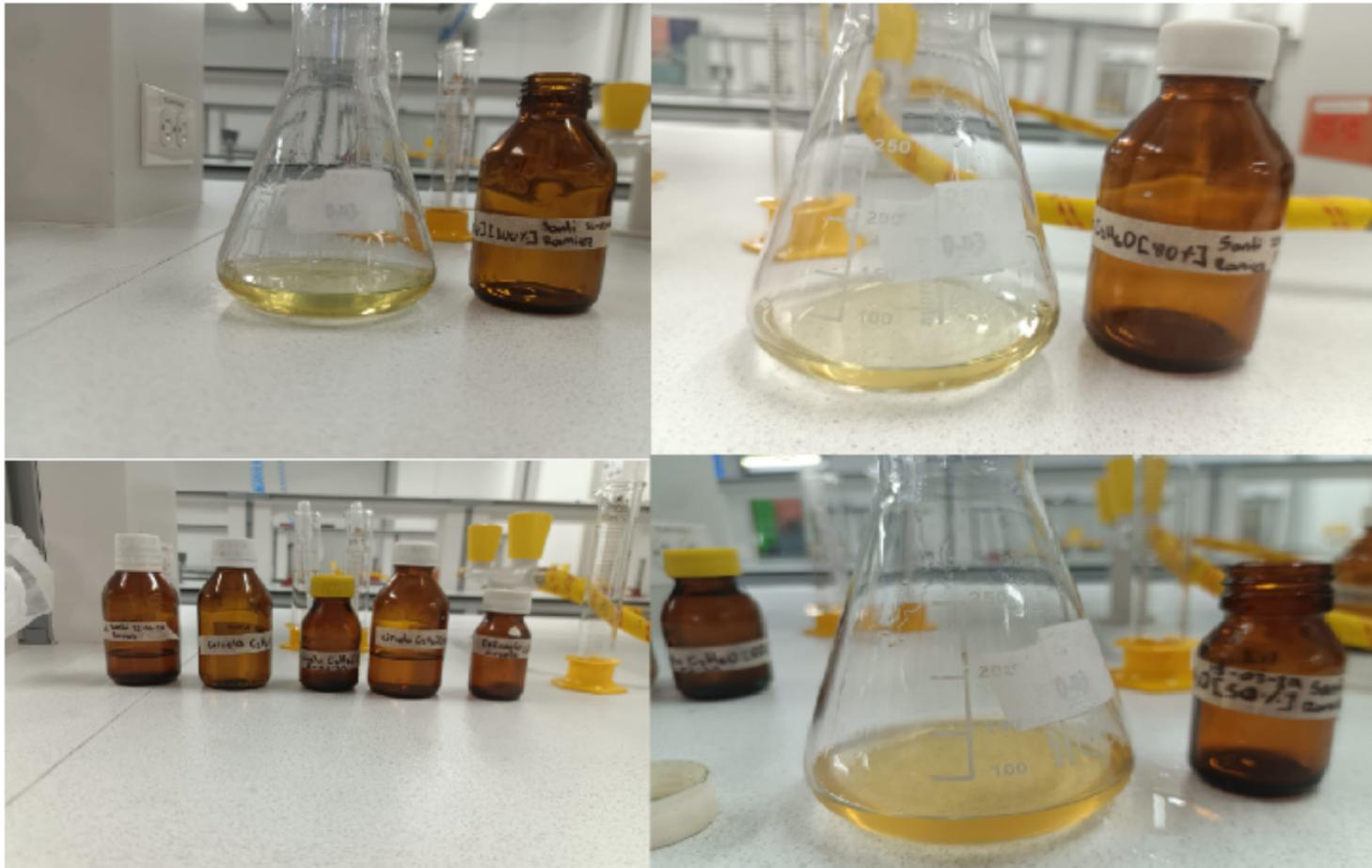


Nota. Sustrato obtenido en experimentación

De esta experimentación previa no se pudo avanzar, ya que se dejó almacenada en frascos ámbar y en refrigeración durante 1 semana, se revisó y observó su color se había deteriorado y puesto amarillo, esto por la oxidación del aire y en un pH superior de 1.

Figura 10.

Oxidación primer extracto de ciruela



Nota .
Oxi
dac
ión
del
sus

trato

Al obtener estos resultados se procede a hacer el proceso solo con la cascara de la ciruela. Haciendo un proceso como constantes el solvente, la relación sustrato-solvente, temperatura y presión. Teniendo el tiempo como una variable que no podemos controlar y la concentración del solvente como una variable controlable. Seleccionamos nuestra variable de respuesta la intensidad de color y los compuestos volátiles orgánicos que arrastre el solvente después de filtrar nuestro extracto y vaporizar el solvente.

Así iniciamos una maceración solo con la cáscara de ciruela, pelando y acumulando 10 gramos de sustrato para iniciar el arrastre por solvente en frío.

Figura 11.

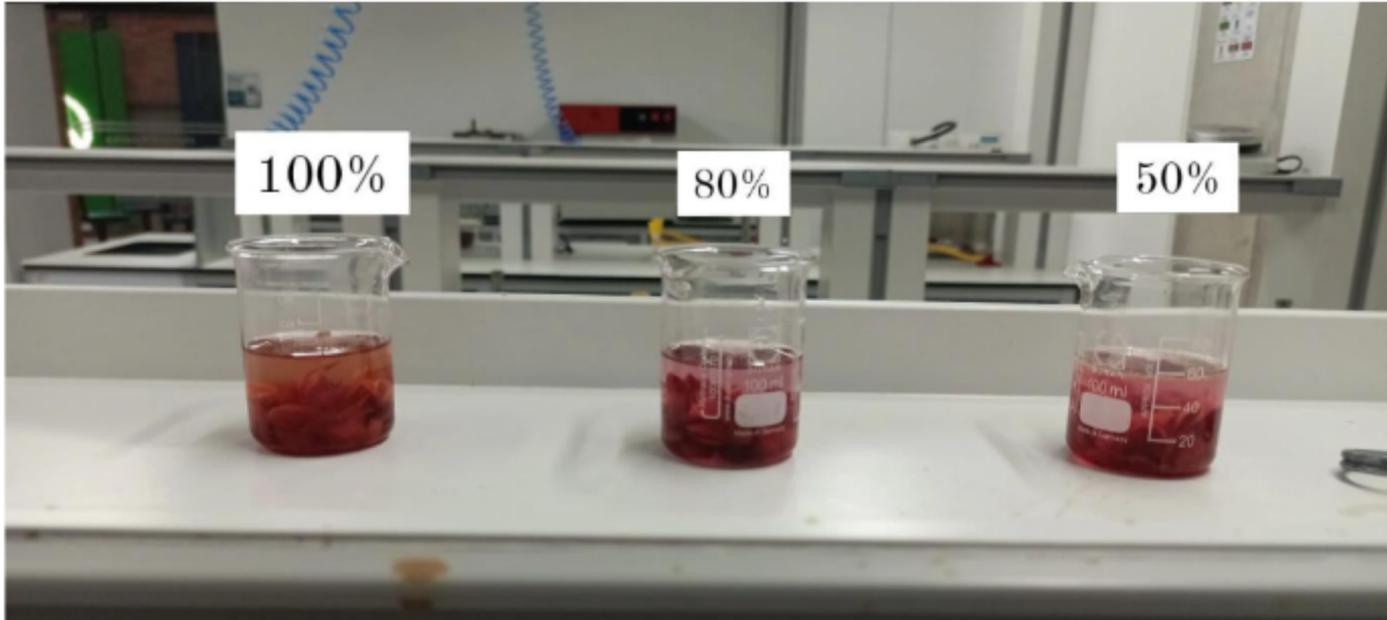
Maceración cáscara de ciruela



Nota. Maceración y retiro de la casc
ara de la ciruela

Este procedimiento se hace seis veces para las diferentes concentraciones y para la réplica, para después agregar el solvente seleccionado (etanol) y haga el arrastre durante una hora y media y dos horas. El tiempo varía cuando se puede observar en el solvente un cambio de color y en el sustrato la pérdida de ello.

Figura 12.



Arrastre por solvente ciruela

Nota. Extracción por solvente en diferentes concentraciones de la ciruela
Después de esperar que el solvente arrastre las biomoléculas y compuestos de la cascara, se filtra un sólido y luego uno por vacío para obtener un sustrato más puro y limpio para la evaporación del solvente.

Figura 13.



Filtración al vacío extracto de ciruela

Nota. Filtración al vacío del extracto.

Ya con el sustrato puro sin sólidos suspendidos puede pasar al rotavapor para la eliminación del solvente y obtener toda la composición orgánica de la cáscara de ciruela, para ello se rotará a 100 rpm a una temperatura de 50 °C durante 40 min a 1 hora aproximadamente.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS

Para caracterizar los pigmentos en este caso de las antocianinas se usará el método oficial 2005.02 de la AOAC. Para ello se usará el espectrofotómetro para hacer un barrido de los sustratos obtenidos, el cual se leerán unas longitudes de onda de 520 nm a 700 nm ya que es proporcional a la concentración del pigmento. Se prepararán dos soluciones amortiguadoras, una de pH 1 y otra de pH 4.5 (debido por la estabilidad de las antocianinas) para corregir la turbidez de la muestra y que la absorbancia esté entre 0.2 y 1.4 como indica la norma. Para luego hacer el cálculo de la cantidad de antocianina en la muestra.

Esta forma de caracterización y medición de antocianinas es el método de pH diferencial de Giusti & Wrolstad el cual describe que los pigmentos antociánicos sufren transforma