

**SUSTITUCIÓN DEL COLORANTE SINTÉTICO ROJO NO. 40 POR COLORANTES A
BASE DE ANTOCIANINAS USANDO FLOR DE CARBONERO ROJO Y FLOR DE
JAMAICA.**

MARÍA JOSÉ RAMOS SANTOS

Proyecto de investigación 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

Firma Docente Jurado 1

Firma Docente Jurado 2

Bogotá D.C. junio 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

Vicerrector de Investigación y Extensión

Dra. Susana Margarita Benavides Trujillo

Vicerrectora Académica

Dra. Maria Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector administrativo y financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Guerra Prieto

Directora Programa Ingeniería Química y Ambiental

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco principalmente a la Universidad de América por la formación académica, la cual se ve reflejada en este trabajo de grado, de igual manera a la directora de este proyecto, Adriana Suesca Díaz, por el acompañamiento constante y la estructuración del documento. Por otro lado, le agradezco a Nicolas Parra, por acompañarme en la elaboración de la parte práctica de la tesis y la estructuración del documento, a mis padres, que fueron mi motor y motivación para llegar al final de la carrera de la manera más satisfactoria, que me apoyaron incondicionalmente y me permitieron cumplir un sueño más en mi vida y finalmente gracias a cada docente durante la formación académica que me permitieron obtener en estos 5 años, los conocimientos y habilidades para un excelente crecimiento profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
PREGUNTA PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN	16
1. GENERALIDADES.....	18
1.1. Colorantes, pigmentos y color.....	18
1.1.1. <i>Producción de colorantes</i>	20
1.1.2. <i>Definición colorante rojo 40</i>	25
1.1.3. <i>Colorantes de origen vegetal</i>	26
1.2. Extracción de colorantes de matrices vegetales	30
1.2.1. <i>Definir cada matriz a emplear</i>	34
1.2.2. <i>Métodos de extracción</i>	39
1.2.3. <i>Propiedades de los extractos vegetales</i>	43
1.3. Seguridad alimentaria.....	46
1.4 Pruebas organolépticas.....	48
2. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LOS FRUTOS ROJOS.....	50
Introducción	50
2.1. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales del carbonero rojo.....	50
Diagrama de flujo	50
Tabla de concentraciones	53
2.2. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales de la flor de Jamaica	53
Diagrama de flujo	54
Tabla de concentraciones	56
2.3. Resultados de la extracción.....	56
3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS	65
Introducción	65
3.1. Caracterización de la concentración de antocianinas.....	65
Diagrama de flujo	65

Cálculos	68
3.2. Análisis del color de los extractos según pH.....	74
3.3. Comparación de los pigmentos obtenidos con el colorante Rojo 40	81
Colorimetría a través de imágenes hiperespectrales	84
4. VIABILIDAD TÉCNICA Y DE COSTOS	88
4.1. Proceso de producción propuesto para la obtención de pigmentos rojos.....	88
4.1.1. Diagrama de flujo de bloques	88
4.1.2. Diagrama PFD	89
4.1.3. Equipos	89
4.1.4. Insumos y servicios	89
4.1.5. Balance de materia del proceso	90
4.1.6. Cálculo de costos de producción	91
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento del mercado de colorantes proyectado de 2021 – 2028.	21
Figura 2. Segmentación del mercado según el color más empleado en la industria.	23
Figura 3. Segmentación del mercado según la región.	24
Figura 4. Características de los colorantes azoicos más empleados en la industria alimentaria.	25
Figura 5. Estructura química de las antocianinas.	31
Figura 6. Equilibrios empleados a las antocianinas a diferentes valores de pH.	34
Figura 7. Flor del carbonero rojo " <i>Calliandra trinervia var</i> ".	36
Figura 8. Flor de Jamaica " <i>Hibiscus Sabdariffa</i> ".	38
Figura 9. Mecanismo de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación de polifenoles.	45
Figura 10. Estructura química del ácido gálico.	46
Figura 11. Diagrama de flujo de extracción a temperatura ambiente.	51
Figura 12. Diagrama de flujo de extracción en caliente.	52
Figura 13. Diagrama de flujo de extracción a temperatura ambiente.	54
Figura 14. Diagrama de flujo de extracción en caliente.	55
Figura 15. Peso flor de Carbonero rojo.	57
Figura 16. Extracción del carbonero rojo en frío.	57
Figura 17. Sustrato obtenido luego de realizar la rota evaporación.	58
Figura 18. Temperatura óptima del solvente para agregar al sustrato.	59
Figura 19. Extracción del carbonero rojo en caliente.	59
Figura 20. Sustrato obtenido luego de realizar la rota evaporación.	60
Figura 21. Peso flor de Jamaica procesada.	61
Figura 22. Extracción de la flor de Jamaica en frío.	61
Figura 23. Extracto de la flor de Jamaica luego de retirar el solvente.	62
Figura 24. Temperatura óptima del solvente para agregar al sustrato.	63
Figura 25. Extracción de la flor de Jamaica en caliente.	63
Figura 26. Extracto de la flor de Jamaica luego de retirar el solvente.	64
Figura 27. Diagrama de flujo para la caracterización de la concentración de antocianinas.	66
Figura 28. Dilución del sustrato con la solución amortiguadora.	67
Figura 29. Curva de absorbancia a 520 nanómetros y 700 nanómetros respectivamente muestra del carbonero rojo 50% frío.	68
Figura 30. Muestras del carbonero rojo a pH de 1,0.	74
Figura 31. Muestras del carbonero rojo a pH de 4,5.	75
Figura 32. Réplicas muestra del carbonero rojo a pH de 1,0.	75
Figura 33. Réplicas muestra del carbonero rojo a pH de 4,5.	76
Figura 34. Muestras de la flor de Jamaica a pH de 1,0.	76
Figura 35. Muestras de la flor de Jamaica a pH de 4,5.	77
Figura 36. Replica muestras de la flor de Jamaica a pH de 1,0.	77
Figura 37. Replica muestras de la flor de Jamaica a pH de 4,5.	78
Figura 38. Curva de barrido del espectrofotómetro para FC50F.	78
Figura 39. Curva de barrido del espectrofotómetro para FC80C.	79
Figura 40. Curva de barrido del espectrofotómetro para FJ50C.	80
Figura 41. Curva de barrido del espectrofotómetro para FJ80C.	80

Figura 42. Prueba organoléptica en pastelillos.	81
Figura 43. Prueba organoléptica en kumis con muestra de carbonero rojo.	82
Figura 44. Prueba organoléptica en kumis con muestra de flor de Jamaica.	83
Figura 45. Imagen de referencia de un vial de laboratorio.	85
Figura 46. Comparación de los rangos de color de las muestras naturales vs el colorante sintético.	86
Figura 47. Muestras empleadas en la prueba de cromatografía comparando el colorante sintético frente a todas las muestras.	86
Figura 48. Diagrama de flujo proceso de producción de colorante a partir de la flor de Jamaica.	88
Figura 49. Diagrama PFD del proceso de producción de colorante a partir de flor de Jamaica	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nombre de colorantes sintéticos más usados.	20
Tabla 2. Colorantes de origen vegetal, generalidades, fuente de proveniencia y beneficios.	27
Tabla 3. Fuentes de antocianinas comestibles.	32
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la Jamaica (<i>Hibiscus Sabdariffa L.</i>)	37
Tabla 5. Composición nutricional de la flor de Jamaica.	39
Tabla 6. Ventajas y desventajas métodos de extracción.	40
Tabla 7. Concentraciones del solvente vs el tiempo de exposición del sustrato.	53
Tabla 8. Concentraciones del solvente vs el tiempo de exposición del sustrato.	56
Tabla 9. Abreviaturas para la identificación de experimentos del carbonero rojo.	69
Tabla 10. Abreviaturas para la identificación de experimentos de la flor de Jamaica.	69
Tabla 11. Resultados caracterización de antocianinas para el carbonero rojo.	70
Tabla 12. Resultados caracterización de antocianinas para la flor de Jamaica.	71
Tabla 13. Promedio y desviación estándar por par de experimentos para el carbonero rojo.	72
Tabla 14. Promedio y desviación estándar por par de experimentos para la flor de Jamaica.	72
Tabla 15. Datos globales para el ANOVA	73
Tabla 16. ANOVA de un factor para los resultados de espectrofotometría.	73
Tabla 17. Resumen prueba organoléptica.	84
Tabla 18. Rendimiento del proceso.	90
Tabla 19. Balance de materia por equipos con proporciones de laboratorio.	91
Tabla 20. Balance de materia por equipos para una tonelada de producción del colorante.	91
Tabla 21. Costos de equipos para la producción de una tonelada.	92
Tabla 22. Costos totales materia prima.	92
Tabla 23. Costos energéticos del proyecto.	93
Tabla 24. Costos totales del proyecto.	93

RESUMEN

Uno de los colorantes más usados en la industria alimentaria y cosmética es el rojo 40, también conocido como Allura Red Dye. Sin embargo, ha suscitado creciente preocupación por sus efectos adversos en la salud de los consumidores. Investigaciones recientes han revelado su posible relación con riesgos carcinogénicos, así como la capacidad de causar problemas cognitivos y obesidad en niños y adolescentes. Por esta razón, este proyecto busca reemplazarlo con una alternativa segura, como los colorantes orgánicos derivados de antocianinas. Las antocianinas son pigmentos naturales presentes en numerosas frutas y vegetales, siendo la primera opción viable para sustituir los pigmentos sintéticos. Adicionalmente, ofrecen beneficios a la salud como propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

En este trabajo de grado se analizó la posibilidad de sustituir el colorante sintético rojo 40 por colorantes orgánicos obtenidos a partir de la flor de carbonero rojo y la flor de jamaica, mediante la extracción de las antocianinas presentes en ambas matrices vegetales, realizando una experimentación por medio de una extracción sólido-líquido con el fin de evaluar la estabilidad y la aceptabilidad sensorial de emplear el colorante orgánico extraído. Adicionalmente se realizaron pruebas organolépticas verificando la respuesta del colorante obtenido en alimentos y de igual forma se evaluó la viabilidad de aplicarlo a la industria realizando un escalamiento.

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 emplearlas.

En los alimentos ultra procesados se ha venido evidenciando una problemática relacionada con los efectos que tiene 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.

Dentro de los colorantes más empleados se encuentra el colorante rojo 40, también conocido como Allura red Ac, el cual es empleado en la industria alimentaria 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 característico de los productos sin alterar su sabor y no presenten problemas en la salud del consumidor.

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.

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

El colorante rojo No. 40, también conocido como Allura Red AC tiene un uso del 65% en el mercado e industria de alimentos, bebidas, fármacos y cosméticos para proporcionar un color rojo brillante a los distintos productos de las áreas de interés anteriormente mencionadas [1]. Sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado una creciente preocupación sobre los efectos tóxicos y nocivos en la salud de la población consumidora del colorante provocando así reacciones alérgicas, enfermedades coronarias como diabetes, cáncer, hipertensión, etc. Así mismo en los infantes hiperactividad y obesidad [2].

Este colorante pertenece a la gama de colorantes sintéticos derivados del petróleo, los cuales se emplean como aditivos alimentarios, en cosméticos, entre otros. [3] La mayoría de estos colorantes se obtienen a partir de alquitrán de hulla y se han empezado a sintetizar a partir del petróleo, el uso de estos colorantes a diferencia de los orgánicos, radica en que su solubilidad y su estabilidad en el agua es más alta; puesto que dentro de su composición se tienen detalles en su equilibrio, que son conocidos como isothermas de adsorción, los cuales describen el comportamiento entre el adsorbato-adsorbente y a su vez, permite tener información de las propiedades del adsorbente estudiado [4]. Sin embargo, no genera aportes nutritivos o fisiológicos en los consumidores. Adicionalmente, varios países de la Unión Europea han optado por prohibirlos por sus efectos adversos en la salud como se nombró anteriormente, como lo son Dinamarca, Bélgica, Francia, Alemania, Suiza, Suecia, Austria y Noruega [4], por otro lado, en Estados Unidos se tiene un control de ingesta del 0,1 mg/kg de peso corporal de quien consuma alimentos que lo contengan [5].

Los colorantes sintéticos son empleados mundialmente en alimentos, especialmente el rojo Allura (Rojo 40), la tartrazina (Amarillo-5) y el amarillo atardecer (Amarillo-6), los cuales representan los colorantes más usados en estados unidos en alimentos, sin embargo, el rojo 40 es el más empleado en comparación a los otros dos. Una problemática frente a este colorante es que el 94% de personas mayores de 2 años lo consumen y el 40% de los alimentos ultra procesados para niños contienen el colorante en una alta proporción. A raíz de esto, se han empezado a realizar una amplia investigación en los últimos 40 años con diversas tecnologías, plataformas y modelos animales el comportamiento del colorante al momento de ingresar al cuerpo, puesto que el cuerpo lo reconoce

como una sustancia extraña, por lo cual genera una respuesta inflamatoria sutil específicamente en el colon y el recto; si esta inflamación crónica permanece, puede contribuir al desarrollo de cáncer, específicamente colodistal y rectal. Recientemente varios grupos de investigación han determinado que el colorante rojo 40 genera colitis en condiciones experimentales, al igual los colorantes sintéticos pueden elevar las citocinas inflamatorias y modulan la expresión de las proteínas o genes relacionados con la inflamación de órganos. [6]

En este orden de ideas surge la necesidad de usar una alternativa amigable con el ser humano; exaltando las propiedades de las antocianinas, que se caracterizan por reemplazar colorantes sintéticos, ya que tienen propiedades antioxidantes, junto con efectos terapéuticos y permiten la reducción de enfermedades coronarias, así que mejora la agudeza visual y el comportamiento cognitivo. Las antocianinas se encuentran en una gran variedad de frutas, como los frutos rojos, verduras como la remolacha, el repollo rojo, el maíz morado, entre otras y en variedad de flores.

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 flor de carbonero rojo y flor de Jamaica.

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

¿Qué diferencias tendría el uso de las antocianinas como alternativa efectiva y segura frente al colorante rojo No 40 en términos de coloración de alimentos?

JUSTIFICACIÓN

En la industria alimentaria se usan colorantes sintéticos, habituales desde hace décadas para mejorar la apariencia y el atractivo visual de los productos. Sin embargo, en los últimos años ha crecido la preocupación por la seguridad y los posibles efectos adversos en la salud por el consumo de este, particularmente el colorante rojo No. 40 o Allura Red AC, pues se ha encontrado que el aumento en el uso de colorantes como este en los últimos 40 años coincide con el aumento del cáncer colorrectal a temprana edad [6]. Adicionalmente según estudios realizados en California por varias agencias, se ha evidenciado que el consumo de colorantes sintéticos por los niños afecta el comportamiento neurológico debido a que se presentan cambios químicos en el cerebro, se agotan minerales como el zinc y el hierro y pueden generar hipersensibilidad e incluso reacciones alérgicas [7].

Por eso se han empezado a buscar alternativas orgánicas, como las antocianinas, ya que son compuestos naturales presentes en alimentos y flores, que ofrecen un amplio potencial para mejorar esta situación.

Se plantearán 4 enfoques de proyecto, que se centrarán en solucionar el problema establecido para evaluar y medir su factibilidad. El primero, sobre la seguridad alimentaria puesto que está aprobado su uso por la FDA, se tienen crecientes preocupaciones en las reacciones adversas que causa en la población como lo son casos de TDAH y en niños suele presentarse sensibilidad y según estudios, el colorante sintético rojo No. 40 informa que tiene conexión los aditivos de color con síntomas de TDAH [8]. Segundo, la demanda del consumidor porque se ha interesado en consumir alimentos saludables y naturales; el tercero, mejorar la calidad, porque se busca que no solo aporte un valor nutricional a los alimentos, y no se altere el sabor ni la calidad de este. El cuarto es la sostenibilidad, por las emisiones de su producción y afectación a fuentes hídricas afectando la flora y fauna de donde se produzcan.

El objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad de emplear colorantes a base de antocianinas como un reemplazo efectivo del colorante rojo No. 40 en una amplia variedad de productos que puedan tener en su composición al mismo. Esto incluirá estudios sobre la estabilidad del color, la seguridad alimentaria, la percepción del consumidor y los costos operativos asociados a esta solución. Adicionalmente se investigará la optimización del proceso de extracción y

aplicación de antocianinas en la industria. Como el uso de flores, verduras y frutos rojos, con el fin de extraer un pigmento orgánico de gran concentración y alta pigmentación, empleando un solvente que no afecte significativamente ninguna de las variables a estudiar [9]. En conclusión, este proyecto busca contribuir al desarrollo de alternativas seguras y naturales al colorante sintético rojo No. 40 en alimentos, buscando la seguridad de los productos, atendiendo a las preocupaciones de la sociedad frente a su salud a largo plazo y en la industria la búsqueda de un mayor rendimiento.

1. GENERALIDADES

1.1. Colorantes, pigmentos y color

Un colorante es una sustancia que permite impartir color a algún objeto o materia. Los tintes y los pigmentos son las principales formas en la que están presentes los colorantes. La principal diferencia entre ambos es que los tintes son solubles, mientras que los pigmentos son insolubles y están suspendidos en un medio aglutinante. Esto se debe principalmente a la diferencia del tamaño de partícula entre ambos lo cual afecta su comportamiento.[10]

Cuando nos referimos al tamaño de partícula de un tinte, las partículas son mucho más pequeñas que las de un pigmento, un ejemplo es comparar la cabeza de un alfiler (tinte) versus una pelota de fútbol (pigmento). Los tintes al ser una sustancia soluble se pueden disolver en el agua, en cambio los pigmentos al ser sustancias insolubles deben suspenderse en un aglutinante. Otra diferencia son las propiedades de unión, un tinte tiene la facilidad de adherirse químicamente a un sustrato a nivel molecular, volviéndose parte del material; en cambio, los pigmentos al requerir un aglutinante o portador que funcione como un pegamento y lo asienten encima como una capa.[10]

Un colorante funcional presenta generalmente una o varias características que lo hacen útil para diferentes fines con el fin de atribuir propiedades colorimétricas específicas. El uso de los colorantes puede ser relevante o irrelevante, sin embargo existen conjuntos de colorantes estéticos de uso industrial y colorantes funcionales explotados comercialmente, la diferencia entre ambos es relativamente pequeña, pero específicamente para el segundo grupo de colorantes la composición química está diseñada para promover características funcionales sin considerar su uso estético, esto por su rendimiento y los costos operativos, los cuales descartan su explotación como colorantes convencionales. [11]

Para entender las diferencias técnicas importantes de un colorante es que se clasifican como tintes o pigmentos. Aunque la diferencia se establece principalmente se centra en su solubilidad, se tiene que comprender las implicaciones que interactúan los colorantes frente a la luz, cuales son adecuados y para que usos están adaptados. La palabra “sustrato” se refiere al objeto que compone el colorante o sobre el medio que recubre el colorante. Un tinte es un colorante que está en una solución durante toda o alguna etapa de su producción y un pigmento es un colorante que no está

en una solución durante la aplicación a algún sustrato, cuya estructura de partículas permanece inalterada. [11]

Los expertos en colorantes los clasifican en tintes o en pigmentos porque la diferencia entre ambos está directamente relacionada en sus propiedades técnicas y en sus métodos de aplicación. La estructura cristalina y el tamaño de partícula del pigmento son indispensables en las propiedades de color de este. La disolución durante la aplicación no debe realizarse con el fin de evitar cambios en sus partículas o el daño del pigmento, en cambio, el estado físico inicial del colorante no suele conservarse al aplicarlo a un sustrato porque el colorante está en una solución o en más etapas del proceso de tintura. El estado inicial puede ser crucial para el éxito de la coloración y puede afectar indirectamente el color del objeto a teñir, pero no se afecta por lo general el estado final del colorante. El objetivo principal de teñir es lograr una distribución uniforme del colorante en todo el volumen o área del sustrato a nivel molecular. [11]

El color es una característica fundamental a la hora de elegir un alimento, incluso se considera un factor psicológico que permite la aceptación o rechazo de algún alimento, adicionalmente, el color es una de las razones estéticas más empleadas por el consumidor al elegir los productos alimenticios siendo un parámetro directo que asegure la buena calidad del producto. El color es una característica percibida por los ojos, en respuesta a un estímulo luminoso que provoca en la retina, a pesar de ello, el color de los alimentos se debe a varias causas como la presencia de pigmentos naturales como la clorofila o los carotenos, la formación de los pigmentos coloreados son consecuencias de reacciones químicas o enzimáticas, la adición de colorantes alimentarios o por su efecto físico en el alimento sobre la dispersión de la luz. [12]

Los colorantes alimentarios se han empleado a lo largo de los años con el fin de mejorar la apariencia de los alimentos y su imagen. Desde la legislación europea son sustancias que dan color a un alimento o le devuelven su color original, pueden ser componentes naturales presentes en algunos alimentos, pueden extraerse de alimentos y haberse incluido en otros o simplemente ser sintetizados en un laboratorio de otro tipo de fuentes no naturales. [12]

Los tipos de colorantes alimentarios que existen se pueden clasificar de diversas formas, según su función, origen, estructura química, entre otros. Sin embargo, en la industria de alimentos los colorantes según su origen, si son sintéticos o naturales. Los colorantes sintéticos se obtienen por medio de una síntesis química, los cuales carecen de sus características naturales y suelen

considerarse negativas. No obstante, se usan ampliamente para mejorar el aspecto atractivo de los alimentos, pero muchos han sido prohibidos y se han dejado de emplear por sus efectos adversos. [12]

A continuación, se presentará una tabla con los colorantes que existen.

Tabla 1.

Nombre de colorantes sintéticos más usados.

Color	Nombre y número E	Food color No.
Azul	Azul patente E-131	Blue 5
	Azul indigotina E-132	Blue 1
	Azul brillante FCF E-133	Blue 2
Rojo	Rojo carmoisina E-122	Red 3
	Rojo ponceau 4R E-124	Red 7
	Rojo eritrosina E-127	Red 14
	Rojo allura E-129	Red 17
Naranja	Amarillo sunset FDF E-110	Yellow 6
Amarillo	Amarillo tartrazina E-102	Yellow 5
	Amarillo quinoleina E-104	Yellow 13
Verde	Verde S o E-142	Green 4
Negro	Negro brillante BN o E-151	Black 1

Nota: Esta tabla presenta los tipos de colorantes que se producen a nivel mundial con su nombre, número E y el número del color que lo representa. Tomado de: M. Calvo Domper, “TRABAJO FIN DE GRADO COLORANTES ALIMENTARIOS,” UNIVERSIDAD COMPLUTENSE.

1.1.1. Producción de colorantes

El mercado mundial de colorantes alimentarios de tipo sintético, natural o natural idéntico, según su aplicación, si es para productos alimentarios o bebidas, por su presentación si es líquido, polvo o emulsión, según su solubilidad si es en agua o aceite, el país de proveniencia, si es de Estados Unidos, Canadá, México, Alemania, Suecia, Polonia, Dinamarca, Italia, Reino Unido, Francia, España, Países Bajos, Bélgica, Suiza, Turquía, Rusia, resto de Europa, Japón, China, India, Corea

del sur, Nueva Zelanda, Vietnam, Australia, Singapur, Malasia, Tailandia, Indonesia, Filipinas, resto de Asia-pacífico, Brasil, Argentina, resto de América del sur, Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Omán, Qatar, Kuwait, Sudáfrica, resto de Medio oriente y África, se presenta a continuación una tendencia en la industria y pronóstico para el 2028.[13]

Figura 1.

Crecimiento del mercado de colorantes proyectado de 2021 – 2028.



Nota: La figura muestra el crecimiento proyectado del mercado de colorantes desde el año 2021 hasta el año 2028. Tomado de: DATA BRIDGE MARKET RESEARCH, “Mercado mundial de colorantes alimentarios: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2028.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-food-color-market>

Según el análisis realizado por Data Bridge Market Research, el mercado mundial de colorantes alimentarios proyecta una tasa compuesta anual del 6,75% para el periodo previsto entre el año 2021 al 2028, respecto al crecimiento y expansión de los alimentos y bebidas.[13]

Los colorantes alimentarios se clasifican como aditivos alimentarios, tintes o pigmentos que son empleados para impartir color. Se emplean en una amplia gama de alimentos y bebidas, en presentaciones líquidas, polvo, geles y pasta. Sin embargo, esto no significa que los colorantes

sean siempre orgánicos. El aumento de la población mundial genera un crecimiento en la demanda de alimentos envasados, lo cual aumenta el gasto para ser competitivos en investigación y desarrollo, permitiendo la aparición de nuevos tonos y colores multifuncionales, provocando una mayor conciencia en los consumidores sobre los productos de etiqueta limpia, especialmente en economías emergentes las cuales inducen aún más el incremento del valor en el mercado.[13]

Sin embargo, la creciente preocupación sobre los riesgos en la salud originados por el consumo de colorantes alimentarios sintéticos plantea un gran desafío para el crecimiento del mercado. Los altos costos relacionados con las competencias de investigación y desarrollo también obstaculizan la tasa de crecimiento del mercado, junto con las estrictas regulaciones impuestas en los diferentes gobiernos sobre el uso de colorantes también son otros de los desafíos en el crecimiento del mercado. [13]

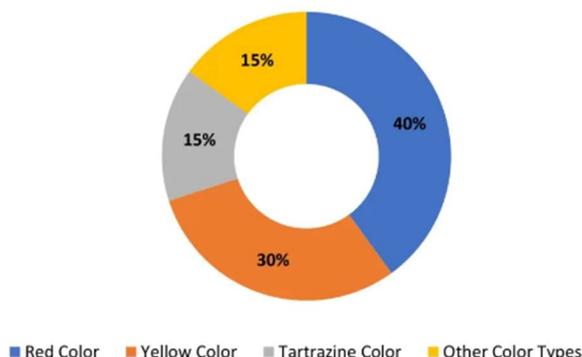
El mercado de los colorantes está segmentado según su tipo, aplicación, forma y solubilidad. El crecimiento de cada segmento permite analizar el origen del crecimiento y así generar estrategias para acercarse al mercado y de esta forma determinar las áreas de aplicación principales y las diferencias en el objetivo del mercado.[13]

Al igual, se prevé que el mercado mundial de los colorantes crezca 0,33 millones de dólares en 2030, con una tasa compuesta anual del 6,89% durante el periodo previsto. Según el análisis de segmentación del mercado de colorantes se divide en 4 principales: tipo de color, aplicación, forma y región. Los colorantes alimentarios según su clasificación por color están incluidos el rojo, amarillo, tartrazina, entre otros, según su aplicación se divide en bebidas, productos de panadería, lácteos, postres, condimentos, alimentos para mascotas y otras aplicaciones. Por su forma, es si está en polvo o líquido y la región, dependiendo del país que produzca más a nivel mundial.[14]

Figura 2.

Segmentación del mercado según el color más empleado en la industria.

Lake Food Colors Market, by Type, 2022



Nota: La figura muestra la segmentación del mercado según el color más usado en la industria para el año 2022. Tomado de: EXACTITUDE CONSULTANCY, “Mercado de colorantes alimentarios lacustres por tipo de color (rojo, amarillo, tartrazina y otros), forma (en polvo y líquido), aplicación (bebidas, productos de panadería, productos lácteos, postres, condimentos, alimentos para mascotas y otras aplicaciones). y Región, Tendencias globales y pronóstico de 2023 a 2030.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/33374/lake-food-colors-market/#segmentation-analysis>

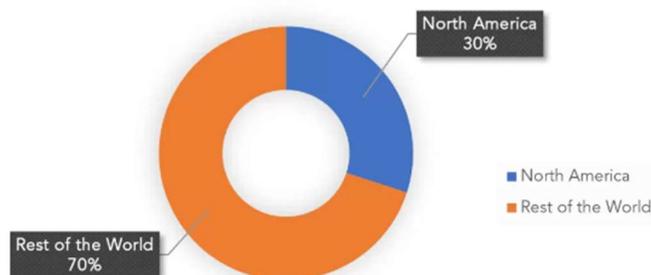
El color que domina el mercado es el rojo, estos colorantes se obtienen de forma natural o sintética y son empleados para proporcionar un color rojo brillante a los alimentos. Este color se asocia con sabores como lo son la frambuesa, cereza o fresa, por ende, es una opción destacada para dulces o afrutados. También es empleado en productos como cárnicos y embutidos, el color rojo brillante representa sabores como el BBQ y mejora la percepción visual de algunos alimentos.[14]

Por otro lado, frente al análisis regional del mercado, América del norte es quien lidera la venta de colorantes alimentarios, representan el 30% de la cuota del mercado frente al valor del mercado mundial. [14]

Figura 3.

Segmentación del mercado según la región.

Lake Food Colors Market, by Region, 2022



Nota: La figura muestra la segmentación del mercado según el color más usado en la industria para el año 2022. Tomado de: EXACTITUDE CONSULTANCY, “Mercado de colorantes alimentarios lacustres por tipo de color (rojo, amarillo, tartrazina y otros), forma (en polvo y líquido), aplicación (bebidas, productos de panadería, productos lácteos, postres, condimentos, alimentos para mascotas y otras aplicaciones). y Región, Tendencias globales y pronóstico de 2023 a 2030.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/33374/lake-food-colors-market/#segmentation-analysis>

Norte América cuenta con un sector de alimentos y bebidas establecido de una manera sólida, que abarca una amplia gama de productos, como lo son alimentos envasados hasta productos horneados, como lo son la confitería, lácteos y bebidas. Esta variedad de alimentos genera una alta demanda de colorantes alimentarios, los cuales aportan una mejora en el aspecto visual de los productos. [14]

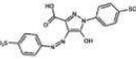
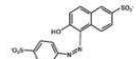
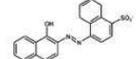
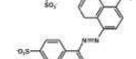
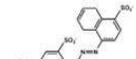
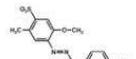
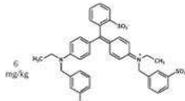
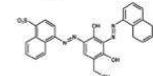
Por otro lado, Europa se ha posicionado como un líder en la innovación de los colorantes alimentarios naturales, gracias a sus rigurosos estándares de seguridad alimentaria. Como la iniciativa de leyes de etiquetado claro impulsadas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, lo cual ha promovido la transición de colorantes sintéticos a colorantes de origen vegetal.[14]

1.1.2. Definición colorante rojo 40

Cerca del 65% de los colorantes de tipo azo son usados como aditivos alimenticios, en productos como lo son bebidas, jamones, dulces, pepinillos, entre otros. Algunos de los colorantes comúnmente más empleados en alimentos son la tartrazina (E102), amarillo ocaso (E110), carmoisina (E122), Amaranto (E123), Ponceau 4R (E124), allura rojo AC (E129), azul brillante (E133) y el marrón HT (E155). Estos colorantes pueden tener efectos adversos sobre la salud al ser consumidos si se supera el límite diario permitido (ADI) particularmente en los niños, puesto que les puede causar alergias, trastorno por déficit de atención con hiperactividad (ADHD), asma, ansiedad, citotoxicidad y genotoxicidad/cáncer. [15]

Figura 4.

Características de los colorantes azoicos más empleados en la industria alimentaria.

AZO DYE	ENS	COLOR	FOOD PRODUCT	ADI	MOLECULAR STRUCTURE
Tartrazine (Yellow 2; d 19140*) <chem>C12H11N4O5S2</chem>	E102			7.5 mg/kg	
Sunset Yellow (Yellow 6; d 15985*) <chem>C16H14N2NaO5S2</chem>	E110			4 mg/kg	
Carmoisine (Acid Red 14; d 14720*) <chem>C14H10N2NaO6S2</chem>	E122			4 mg/kg	
Amaranth (Acid Red 27; d 16189*) <chem>C16H12N2NaO6S2</chem>	E123			0-0.8 mg/kg	
Ponceau 4R (Acid Red 18; d 16259*) <chem>C16H12N2NaO6S2</chem>	E124			0.7 mg/kg	
Allura Red (FD&C Red 40; d 16035*) <chem>C16H12N2NaO6S2</chem>	E129			7 mg/kg	
Brilliant blue (FD&C Blue 40; d 16035*) <chem>C20H16N4NaO6S3</chem>	E133			6 mg/kg	
Brown HT (Food Brown 3; d 20285*) <chem>C18H14N4NaO6S2</chem>	E155			1.5 mg/kg	

Nota: La figura muestra el nombre de los colorantes más usados, junto con su fórmula química, su estructura y un ejemplo de alimentos o bebidas donde se emplean. Tomado de: P. Barciela, A. Perez-Vazquez, and M. A. Prieto, “Azo dyes in the food industry: Features, classification, toxicity,

alternatives, and regulation,” Food and Chemical Toxicology, vol. 178, p. 113935, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.fct.2023.113935.

Su fórmula química es $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$ Este colorante es un colorante rojo monoazo en polvo empleado en mezclas para confitería, helados, especias, bebidas, salsas, jaleas, gelatinas y alimentos lácteos. Al 50 % es soluble en agua y algo soluble en etanol; pero su consumo se ha relacionado con alteraciones ocasionales en el comportamiento de humanos y animales, generando hiperactividad en niños, por eso la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) sugiere un IDA de 7,0 mg/kg pc/día. [15]

El colorante E-129 o Rojo Allura AC, conocido también con los nombres de Rojo 40, Rojo 40 laca, Rojo Lago, Rojo 17, CL Food Red 17, es un colorante sintético con un color rojo intenso a oscuro, es un colorante obtenido como derivado del petróleo, perteneciente al grupo de colorantes azoicos. Fue creado en estados unidos para reemplazar el colorante Amaranto E-123 y de esta forma evitar sus efectos adversos en la salud, actualmente es el colorante rojo más usado en la industria. [16]

Su uso como aditivo es empleado en yogures, gelatinas, flanes, postres, helados, dulces, algodón de azúcar, caramelos, golosinas, mermeladas, cereales, barquillo, pastelería, refrescos, bebidas, salsas, snacks y productos cárnicos. También es empleado como tinta para tatuajes.[16]

En sus efectos secundarios esta la posible hiperactividad en niños, desde el año 2009 en Europa se exigió detallar en el etiquetado el siguiente aviso “Puede tener efectos negativos sobre la actividad y atención de los niños”. En grandes dosis es un liberador de histamina y puede aumentar los síntomas de asma, producir eczemas, urticaria e insomnio. Debido a que es un colorante azoico puede generar intolerancia en personas alérgicas al ácido salicílico y a largo plazo provoca cáncer de vejiga en animales de laboratorio. Tiene un nivel de toxicidad alto.[16]

1.1.3. Colorantes de origen vegetal

Los colorantes naturales son más saludables según varios estudios se busca la viabilidad de lograr sustituir los colorantes sintéticos en los productos alimentarios y de esta forma también alcanzar la efectividad a nivel industrial para emplearlos. Las antocianinas, betalainas, carotenoides,

clorofilas, curcumina y xantofilas pertenecen a los colorantes naturales más conocidos, los cuales no generan efectos adversos sobre la salud, sin generar toxicidad o riesgos sanitarios para la población, de igual forma, en muchos casos estos colorantes aportan algunos beneficios a la salud por sus mecanismos de acción cuando ingresan al organismo.[17]

Tabla 2.

Colorantes de origen vegetal, generalidades, fuente de proveniencia y beneficios.

Colorante	Generalidades	Fuente	Beneficios
Antocianinas	Es un pigmento inestable, especialmente en soluciones alcalinas y neutras, puede tener cambios durante su proceso y almacenamiento manifestado como una pérdida de color, oscurecimiento del producto y formación de precipitados en los extractos. Se le atribuye una gran variedad de colores desde la gama de los rojos hasta el azul.	Están presentes en frutas, verduras, cereales y flores.	Compuestos vasoactivos, actividad antioxidante comprobada y antielasta. Previene la aparición de cáncer en el intestino grueso.
Rojo carmín	Es uno de los colorantes naturales más empleados antiguamente, usado como pigmento o colorante en varias industrias. Cuando se emplea como colorante	Proviene de la cochinilla, un insecto parásito de plantas que se desarrolla en la penca de la tuna. Es usado para la extracción del	Es empleado de distintas formas industriales, su tonalidad es estable, permitiendo realzar el color de los productos donde se emplee. Un

	<p>(estado sólido) su método de coloración es por dispersión por la distribución del color a lo largo del material donde se emplee y la fuerza de coloración no es proporcional a su pureza. Por otro lado, cuando se emplea como pigmento (estado líquido) su método de coloración es por disolución, la fuerza de coloración y su pureza son proporcionales. Este es uno de los colorantes con las mejores características tecnológicas de los naturales puesto que les concede a los alimentos un tono rojo agradable no solo útil en la industria de alimentos sino también en la industria cosmética.</p>	<p>colorante compuesto por dos sustancias conocidas como el carmín y el ácido carmínico.</p>	<p>colorante natural tiene un alto costo y puede generar alergias por ser extraído de animales.</p>
Betalainas	<p>Es un colorante de tonalidades desde el rojo hasta el morado. Empleado en dulces, snacks, queso fresco, chips, conservas, algodón</p>	<p>Se encuentran en el amaranto, la pitajaya, la tuna y remolacha.</p>	<p>Provoca la inducción a la enzima denominada quinona reductasa, la cual es una enzima de detoxificación en los</p>

	de azúcar, gelatinas, lácteos, mermeladas, refrescos y en pastelería. Adicionalmente son empleados para la coloración de embutidos y cárnicos.		procesos de quimioterapias, favoreciendo la prevención del cáncer.
Carotenoides	Colorantes naturales o sintéticos, de color naranja y amarillo, empleado en bebidas de naranja y limón, comida pre cocida y embutidos, pasteles, mayonesas, margarinas, dulces y cereales.	Se extrae del aceite de palma, zanahorias y algas, sin embargo, se puede obtener de forma sintética por medio de biosíntesis de microorganismos.	Se transforma en vitamina A dentro del organismo.
Clorofilas	Sustancia de color verde, obtenido por medio de la extracción con disolventes de hierba, alfalfa, ortigas y césped en general puede ser obtenido de todas las plantas y algas.	Se extrae vía química de plantas verdes.	Estimula la circulación sanguínea, mejora la oxigenación, elimina toxinas y radicales libres, es un excelente antioxidante.
Curcumina	Colorante natural o sintético con tonalidades naranja intenso y amarillo brillante, de sabor amargo obtenido por medio de destilación o por extracción con	Se obtiene mediante la extracción de la raíz de cúrcuma o con ayuda de bacterias del jengibre proveniente de India.	Posee antioxidantes investigados, gracias a las funciones metabólicas de algunos órganos, se han demostrado las propiedades

	disolventes de la cúrcuma. Se obtiene el polvo de la curcumina concentrado mediante la purificación del extracto, a través de un proceso de cristalización.		antiinflamatorias y anticancerígenas.
Xantofilas	Pueden ser naturales o sintéticas, caracterizadas por tener un color naranja, amarillo y rojo. Son empleadas en bebidas alcohólicas, sopas en polvo, embutidos, dulces, galletas y en cárnicos de origen animal.	Se obtienen mediante la extracción de flores, plantas, verduras, frutas, huevos e incluso crustáceos.	Son una gran fuente de vitaminas A y E, las cuales poseen propiedades antioxidantes.

Nota: La tabla presenta los tipos de colorantes de origen vegetal, sus generalidades, junto con su fuente de extracción y los beneficios que tiene el consumo de los mismos. Tomado de: B. G. Hidalgo Olmedo, “Uso de colorantes alimentarios (artificiales y naturales) y su impacto en la salud: revisión de la literatura.” 2022. Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9714>

1.2.Extracción de colorantes de matrices vegetales

La extracción de los colorantes de origen natural surge de una concientización medioambiental, pero como bien se sabe, el color es un parámetro relevante en los alimentos puesto que se asocia directamente con la calidad de los alimentos. Desde la antigüedad se han empleado los tintes naturales en los alimentos con el fin de hacerlos atractivos a nivel visual, pero tienen un problema en su estabilidad por factores medioambientales y a su proceso de producción, sin embargo, se empezaron a emplear los pigmentos artificiales, los cuales presentan alta estabilidad, duración del

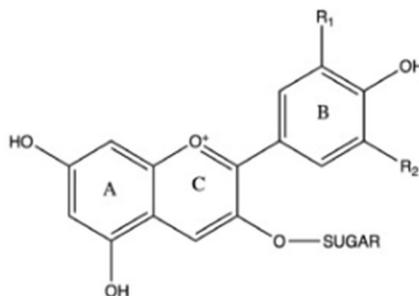
color y bajos costos de producción, pero se han presentado indicios de daños a la salud y es por esta razón que se busca volver a los colorantes naturales en alimentos. [18]

Uno de los colorantes más usado es el rojo, puesto que es un color llamativo y a su vez genera sensaciones gustativas esperadas, el pigmento natural que proporciona esa tonalidad roja son las antocianinas, compuestos que se encuentran distribuidos en una amplia gama de fuentes vegetales, a diferencia de los colorantes sintéticos, sin embargo, el uso de antocianinas presenta un gran desafío debido a su baja estabilidad frente a factores como lo son el pH, el oxígeno, la luz y la temperatura; por lo cual se deben estabilizar vía química o física. [18]

Las antocianinas son pigmentos solubles en agua, uno de los más ampliamente distribuidos en la naturaleza luego de la clorofila. Pertenecen a la familia de los flavonoides, tienen una estructura básica llamada ion flavilio, se compone de un anillo aromático [A] unido a un anillo heterocíclico que contiene oxígeno [C], está unido a un tercer anillo aromático por un enlace carbono-carbono [B]. [18]

Figura 5.

Estructura química de las antocianinas.



Nota: La figura muestra la estructura química de las antocianinas. Tomada de: S. Y. Granados-Balbuena et al., “Patented technologies in the extraction, preservation, and application of

anthocyanins in food: A review,” Applied Food Research, vol. 4, no. 1, p. 100388, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.afres.2024.100388.

Por otro lado, la mayoría de las frutas, verduras, cereales y flores, tienen tonos rojos, azules, magenta, morados e incluso naranjas ricos en antocianinas y dependiendo del tipo y mezcla de antocianinas presentes en la fuente se obtendrá el color de esta. [18]

Tabla 3.

Fuentes de antocianinas comestibles.

Antocianidinas	Sustitución		Distribución en frutas y vegetales (%)	Color	$(\lambda_{\text{máx}})$ nm espectro visible
	R1	R2			
Pelargonidina (Pg)	H	H	12	Naranja	520
Cianidina (Cy)	OH	H	50	Naranja – Rojo	535
Delfinidina (Dp)	OH	OH	12	Azul – Rojo	546
Peonidina (Pn)	OCH ₃	H	12	Naranja – Rojo	532
Petunidina (Pt)	OCH ₃	OH	7	Azul – Rojo	543
Malvidina (Mv)	OCH ₃	OCH ₃	7	Azul – Rojo	542

Nota: La tabla muestra los distintos tipos de antocianinas que existen, junto con el color que presentan y el rango de espectro de luz visible donde se identifican. Tomada de: S. Y. Granados-Balbuena et al., “Patented technologies in the extraction, preservation, and application of anthocyanins in food: A review,” Applied Food Research, vol. 4, no. 1, p. 100388, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.afres.2024.100388.

Las antocianinas están relacionadas con la prevención del daño oxidativo por especies reactivas de oxígeno (ROS) en la estructura del ADN, proteínas, lípidos y otras macromoléculas. Las antocianinas actúan a diferentes niveles; el primero está relacionado con la acción sistémica puesto que son absorbidas y circulan por el torrente sanguíneo llegando a diversos tejidos dentro del cuerpo, la segunda acción está localizada en el intestino y el último, puede actuar como agente protector contra la radiación ultravioleta a nivel tópico[18].

Adicionalmente las antocianinas como promueven la salud, se busca su implementación en varios productos. Su principal uso se puede dar en bebidas o jugos, puesto que sus valores de pH oscilan entre 2 y 3, en lo que predomina el catión flavilium permitiéndole tener estabilidad al pigmento. Otra aplicación es la elaboración de dulces porque el pH de estos productos está entre 1 y 3, pero también se pueden aplicar a lácteos, pastas, galletas y bollería, con valores de pH de 5 y 7, y en algunos casos las antocianinas no se usan directamente a los alimentos, un ejemplo, son cuando están incrustadas en una biopelícula de forma que permite usarse como indicador de estabilidad o conservación, y para cada aplicación se le hacen procesos de estabilidad o conservación. [18]

Bebidas y jugos

Esto debido a la inestabilidad de las antocianinas frente a diversos factores ambientales y los conservantes empleados como el ácido ascórbico y el dióxido de azufre, por esta razón algunas tecnologías patentadas han centrado sus estrategias en estabilizar las antocianinas mediante portadores como lo son el colágeno hidrolizado comestible, el alginato de sodio, la pectina, el gellan, la goma y la carragenina. [18]

Confitería

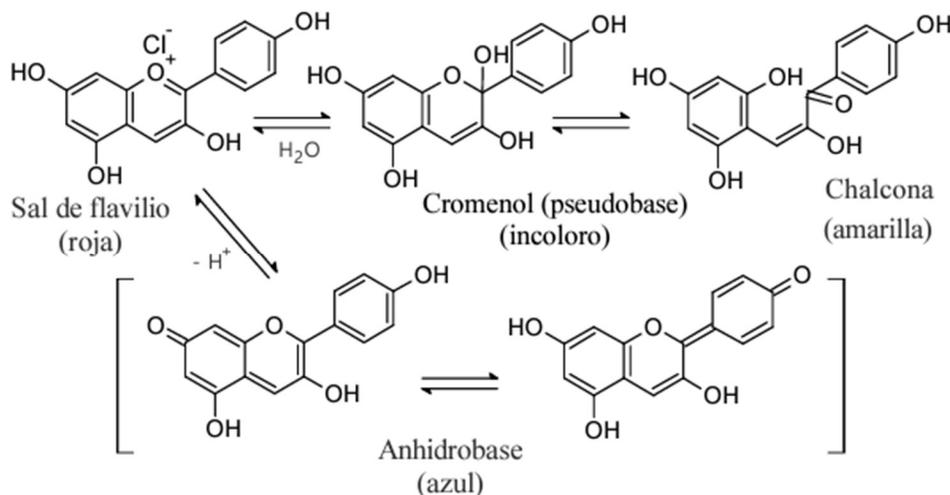
Bien se conoce que los dulces son un producto importante en la industria alimentaria y el color es uno de los factores más importantes para que estos sean atractivos visualmente. El color para estos lo pueden dar las antocianinas. Adicional a los parámetros fisicoquímicos anteriormente mencionados, la interacción con otros componentes de la matriz del producto puede causar desvanecimiento o modificación del color esperado. [18]

Las antocianinas, por otro lado, se encuentran principalmente en flores y en frutos empleados en dietas en la canasta familiar y animal desde la prehistoria. Las antocianinas pueden poseer una tonalidad incolora e incluso llegar hasta el amarillo, rojo, violeta azul. [19]

La estabilidad de las antocianinas se relaciona con su color, generalmente en soluciones acuosas se obtiene un equilibrio mediante la sal flavilio, sobre todo del pH del medio; las especies que se pueden generar lo pueden lograr mediante tres diferentes tipos de equilibrios: El ácido-base, por hidratación (mediante la eliminación o adición de una molécula de agua) y por equilibrio tautométrico. Estas especies nuevas presentarán diferentes colores por los medios empleados. [19]

Figura 6.

Equilibrios empleados a las antocianinas a diferentes valores de pH.



Nota: La figura muestra los equilibrios empleados en las antocianinas a diferentes valores de pH para identificar sus respectivos colores. Tomado de: D. MARCANO, Introducción a la Química de los Colorantes, Segunda Edición 2018. 2018.

Por otro lado, la estabilidad del color de las antocianinas está directamente relacionado con el pH, pero adicionalmente con su estructura, sin embargo, también depende de factores como la concentración, el tipo de solvente a emplear, la temperatura y la presencia de sustancias que puedan reaccionar reversible o irreversible en función de las antocianinas.[19]

1.2.1. Definir cada matriz a emplear

Carbonero Rojo “*Calliandra trinervia var*”

Respecto al carbonero rojo, es un árbol que se encuentra en la cordillera oriental en el departamento de Cundinamarca, se ve de forma natural en la zona cafetera y en forma de cultivo en la sabana de Bogotá y sus alrededores; se da en zonas entre los 1.000 o 2.000 msnm, en bosques húmedos premontanos (bh-PM) y en bosques muy húmedos premontanos (bmh-PM). Las flores que son nuestro producto de interés se encuentran dispuestas en forma de cabezuelas globosas que se

asemejan a un pomo, son abundantes, compuestas de numerosos estambres (polístemonos) que, en la parte superior, son de color rojo (*Calliandra*) y en la parte inferior son de color blanco.[20]

Tiene 4 tipos de uso

Alimenticio: Al ser una especie melífera atrae a colibríes y a insectos (animales silvestres)

Doméstico: Su madera sirve como leña y también se le da uso para la elaboración de carbón.

Industrial: Proporciona madera útil para la construcción de interiores y para postes.

Ornamental: El árbol es apropiado para ser plantado en parques y jardines.

El carbonero rojo mide 6 m y tiene un diámetro en el tallo de 20 cm, es curvo y su corteza gris con tonalidades rosadas, la copa del árbol es globo y algunas veces de parasol, densa y verde, las ramas son rectas y van hacia arriba, flexibles, delgadas y con tonos verdes y marrones[20].

Las hojas tienen dos pinnas asimétricas (denominación usada a cada pieza separada que se encuentran dividida en el limbo de una hoja), estas poseen tres nervios que van de la lámina hasta el eje, no tienen pelos (glabras), su borde es entero y presentan estípulas libres[20].

Por otro lado, las flores se encuentran dispuestas en grupos de cabezuelas globosas similares a un pomo, son abundantes, se conforman por numerosos estambres (polístemonos) que en la parte superior son de color rojo (*Calliandra*) y en su parte inferior son de color blanco.[20]

Los frutos pueden medir entre los 10 y los 15 cm de largo por 2 cm de ancho, son alargados y su consistencia es leñosa, se abren por sí mismos (dehiscentes), se suelen encontrar en forma de umbelas y poseen pequeños pies que miden entre 1 y 2 cm de largo. [20]

Finalmente, la semilla mide 2 cm de largo, 1,5 cm de ancho y 0,5 cm de alto, de forma plana, a veces parece un trapecioide, marrón brillante, con una cutícula delgada y sus cotiledones blancos. [20] En cuanto a la propagación y crecimiento de este árbol, la semilla se siembra en germinadores a 2 cm de profundidad en forma vertical, con una distancia entre sí de 5 cm y en hileras separadas a 10 cm de cada una; cuando las plántulas alcanzan entre 5 y 10 cm de altura se trasplantan a bolsas de polietileno y al medir entre 20 y 30 cm de altura, se pueden sembrar en el lugar definitivo donde germinará el árbol. Es una especie de crecimiento más o menos rápido, requiere sombra en su estado joven y al madurar requiere bastante exposición solar. Sus flores se dan dos veces al año

igual que los frutos y en cuanto a la caída y renovación de follaje pierden parcialmente sus hojas. [20]

Figura 7.

Flor del carbonero rojo “Calliandra trinervia var”.



Nota: La figura muestra la flor de carbonero rojo con sus polistemonos. Tomada de: G. Mahecha Vega, A. Ovalle Escobar, D. Camelo Salamanca, A. Rozo Fernández, and D. Barrero Barrero, “Vegetación del territorio CAR,” 2012.

Flor de Jamaica “*Hibiscus Sabdariffa*”

La flor de Jamaica es una planta tipo arbusto semileñoso con una producción anual o bianual, pertenece a la familia de las *malvaceae* y tiene una altura entre dos y tres metros de altura. La corteza es roja, presenta tallos abundantes con hojas alternas de bordes irregulares aserrados. Es una flor nativa de Asia (India y algunas zonas de Malasia) o de África tropical, de la cual actualmente se conocen 500 especies de *Hibiscus* en el mundo. Este tipo de flor se da en regiones tropicales y subtropicales y contienen matrices de color verde o rojo. La Jamaica es una flor muy popular en países de Medio-Oriente especialmente en Egipto. En Sudán, representa un cultivo principal de exportación sobre todo la parte occidental donde este ocupa el segundo lugar después del mijo perla. [21]

Tabla 4.

Clasificación taxonómica de la Jamaica (Hibiscus Sabdariffa L.)

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Anthophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Malvaceae</i>
Genero	<i>Hibiscus</i>
Especie	<i>Sabdariffa L.</i>

Nota: La tabla muestra la clasificación taxonómica de la flor de Jamaica “Hibiscus Sabdariffa L.”. Tomado de: J. A. Guerrero Beltrán and S. Cid-Ortega, “Propiedades funcionales de la Jamaica (Hibiscus Sabdariffa L.) ” Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 2012.

En América, la planta es cultivada en las zonas tropicales del caribe y centro américa como un cultivo doméstico. La flor de Jamaica a nivel internacional se diferencia por seis características: Color, forma, apariencia, peso, fruto y tamaño de la planta. La mayoría de las variedades son empleadas como plantas ornamentales, exceptuando el tipo *Sabdariffa* de la cual se identifican dos subtipos; la *Hibiscus Sabdariffa* variedad *altissima* y la otra es la *Hibiscus Sabdariffa* variedad *Sabdariffa L*, la cual es una planta alta, vigorosa con pocas ramificaciones y fibrosa, por lo cual se cultiva principalmente para la obtención de fibras, aunque también posee cálices comestibles.[21]

En cuanto a los usos de esta, se ha empleado como flor medicinal, con el fin de disminuir de peso o el malestar luego de la ingesta de bebidas alcohólicas, a su vez funciona como un estimulante de las funciones normales de hígado o los riñones, por otro lado, en la industria alimentaria se emplea para la fabricación de vinos, refrescos, gelatinas o pastelería y finalmente se puede emplear en la industria textil como una fibra sedosa y fuerte similar al yute. [22]

Figura 8.

Flor de Jamaica “Hibiscus Sabdariffa”.



Nota: La figura muestra la flor de Jamaica en su etapa de madurez para ser recolectada. Tomada de: F. Urbina Torres, “Proyecto de Desarrollo de la Cadena de Valor y Conglomerado Agrícola,” 2009.

El tiempo de recolección de esta flor se da entre 5 a 6 meses luego de la siembra, un factor importante a la hora de adquirirla es cuando posee sus calices carnosos, puesto que son los que le dan su valor comercial, pasado ese tiempo, las brácteas y los calices han alcanzado el tamaño y madurez fisiológica óptima para ser extraída. [22]

Por otro lado, la composición nutricional de los alimentos permite comprender a fondo la cantidad de nutrientes que puede contener y adicionalmente el valor energético, a continuación, se reporta una tabla que reporta los nutrientes que puede poseer la flor de Jamaica por cada 100 gramos.[23]

Tabla 5.

Composición nutricional de la flor de Jamaica.

Composición	Unidad de medición	valor
Humedad	g	86,5
Proteínas	g	17,4
Extracto etéreo	g	2,1
Carbohidratos totales	g	65,5
Fibra	g	8,5
Cenizas	g	6,5
Calcio	mg	215
Fósforo	mg	37
Hierro	mg	1,48
Tiamina	mg	0,011
Rivoflamina	mg	0,028
Niacina	mg	0,31
Vitamina C	mg	63,5

Nota: La tabla presenta la composición nutricional que posee la flor de Jamaica en 100 gramos. Tomado de: A. E. LLAMUCA ARÉVALO, “EXTRACCIÓN DE COLORANTES NATURALES DE JAMAICA (Hibiscus Sabdariffa), MORA ANDINA (Rubus glaucus) y UVA (Vitis vinífera) PARA EL USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2018.

1.2.2. Métodos de extracción

Las antocianinas pueden ser extraídas de diferentes matrices vegetales, el método más común empleado es la extracción sólido-líquido, sin embargo, existen diferentes métodos los cuales se presentarán a continuación.

Tabla 6.*Ventajas y desventajas métodos de extracción.*

Método de extracción	Procedimiento	Ventajas	Desventajas	Cita
Arrastre por solvente	La extracción de antocianinas generalmente se realiza mediante la maceración, utilizando pequeñas cantidades de ácido clorhídrico (HCl) para acidificar la solución, empleando como solvente metanol o etanol a temperatura ambiente, o en algunos casos con una temperatura cercana al punto de ebullición del solvente.	<p>Se obtiene una alta eficiencia de extracción a temperaturas por encima de los 75°C con un tiempo de exposición al solvente de 120 a 240 minutos.</p> <p>Tiene un rendimiento de extracción alto cuando se emplean condiciones altas de temperatura y tiempo de exposición al solvente.</p> <p>Es un método que permite adaptarse a diferentes volúmenes de muestra, lo que significa que se puede escalar en laboratorio o a nivel industrial.</p>	<p>Puede tener trazas de toxicidad cuando se acidifica el solvente empleado, siendo perjudiciales para la salud humana.</p> <p>Se pueden generar contaminación de las muestras debido al uso de diferentes solventes en los equipos de extracción, afectando directamente los resultados.</p> <p>Se necesitan altas cantidades de solvente, lo cual se refleja directamente en costos significativos de producción y se generan altos volúmenes de solvente como residuo al extraerlo de vuelta.</p>	[24]
Extracción por fermentación	La extracción de antocianinas por fermentación de la matriz vegetal es una técnica novedosa que no ha sido muy estudiada aún sin embargo presenta grandes beneficios.	<p>Las antocianinas extraídas por medio de fermentación son más puras que las obtenidas por medio de extracción solido-liquido.</p> <p>En el proceso se producen levaduras a partir de los azúcares presentes, las cuales producen etanol, dióxido de carbono, metabolitos secundarios</p>	No se aportan datos de las antocianinas obtenidas, ni de su estabilidad.	[24]

		<p>como alcoholes superiores, éter etílico y ácidos grasos.</p> <p>Al mezclar los metabolitos secundarios con las antocianinas se forman proantocianinas las cuales son más estables.</p>		
Soxhlet	<p>Es un método de extracción sólido-líquido en el cual el producto de interés son las grasas, las cuales se disuelven en solventes no polares como el hexano, cloroformo y el éter de petróleo, cuando entra en contacto con el solvente, las grasas presentan afinidad al separarse del resto de los componentes.</p>	<p>El solvente y la muestra están en constante contacto, de esta forma se mejora la extracción porque el solvente no se contamina durante el proceso.</p> <p>El solvente proviene de una condensación, el cual se mantiene en estado líquido y permanece caliente, lo cual permite la solubilidad del analito.</p> <p>No requiere una filtración posterior al proceso, puesto que el solvente orgánico se evapora dejando únicamente el sustrato de interés.</p> <p>Tiene una gran capacidad de recuperación y no necesita grandes equipos ni material.</p>	<p>No se puede aplicar a alimentos que posean grasas recubiertas (productos lácteos).</p> <p>Es un proceso lento y no hay forma de acelerarlo, requiere mínimo 4 horas.</p> <p>Se necesitan aproximadamente 300 mL de solvente por cada 20 g de muestra.</p> <p>No se puede emplear este método en sustratos termolábiles, los cuales se descomponen con el calor o cuando reaccionan y no requiere una evaporación al finalizar el proceso.</p>	[25]
Maceración	<p>Este método de maceración se emplea en la</p>	<p>Es un método directamente aplicable a los alimentos.</p>	<p>Se requieren grandes cantidades de solvente.</p>	[25]

	<p>extracción solidolíquido a partir de matrices vegetales, del proceso se puede realizar la extracción de compuestos antioxidantes dando dos productos los cuales pueden ser empleados dependiendo a la necesidad que se tenga. Se puede realizar en maceración en frío o con calor.</p>	<p>Este proceso se puede realizar a temperatura ambiente, por lo cual no se genera una degradación de compuestos.</p> <p>Se puede realizar con o sin agitación magnética.</p> <p>Se logran extraer todas las propiedades del sustrato macerado.</p>	<p>Requiere evaporación al finalizar la etapa de maceración para retirar el solvente empleado.</p>	
Ultrasonido	<p>Es una técnica altamente eficiente empleando una sonda ultrasónica con una temperatura controlada de 35°C, con una frecuencia de 37 kHz y una amplitud de 100% W.</p>	<p>El ultrasonido en los líquidos facilita la cavitación propagada por medio de ondas de compresión y refracción.</p> <p>El ultrasonido permite la debilidad o el rompimiento de las paredes celulares biológicas permitiendo la liberación de los compuestos de interés.</p> <p>Es un método que permite acelerar la difusión interna incrementando la transferencia de masa, permitiendo una mayor penetración del solvente en la matriz de muestra.</p>	<p>Los costos de un equipo de ultrasonido son altos comparado con los demás métodos.</p> <p>El uso de un equipo de ultrasonido representa un alto consumo de energía eléctrica, lo que genera un aumento en los costos de producción.</p> <p>Su uso puede generar degradación de algunos compuestos simples, puesto que genera altas temperaturas localizadas en la muestra y de no controlarse esa temperatura se puede perder el sustrato de interés.</p>	[26]
Extracción	<p>Es un método de</p>	<p>La exposición a</p>	<p>Si no se emplea un buen</p>	[26]

líquido- líquido	transferencia de masa de una solución líquida de alimentación, que puede contener uno o más solutos los cuales son mezclados con un líquido inmiscible o casi inmiscible como solvente.	solventes puede tener afinidad preferencial o selectividad a uno o más componentes de la alimentación con diferentes densidades. Este método de extracción es útil siempre y cuando se elija adecuadamente el disolvente para la extracción. Es uno de los métodos empleados cuando se requiere la separación de fenoles en subproductos restantes en la industria de bebidas.	disolvente, la extracción no tendrá buenos resultados y puede que se pierda la selectividad entre la solución y el disolvente.	
---------------------	---	--	--	--

1.2.3. Propiedades de los extractos vegetales

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

Los pigmentos antociánicos son importantes para la calidad de los alimentos puesto que contribuyen tanto con el color como el aspecto donde se empleen. Actualmente hay un creciente interés en el contenido de antocianinas en los alimentos y nutraceuticos por sus posibles beneficios en la salud. El contenido de pigmentos antociánicos se puede tener como criterio al momento de comprar zumos de frutas, nutraceuticos y colorantes naturales, es por esta razón que se emplea un método AOAC para determinar con rapidez y precisión el contenido total de antocianinas monoméricas [27].

Las antocianinas son el componente que da tonalidades rojas, moradas y azules en frutas, verduras y cereales. Existen 6 tipos de antocianinas más comunes; la pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina y malvidina, cuyas estructuras pueden variar por una sustitución glucosídica en posiciones 3 y 5, otras variaciones pueden producir por grupos de azúcares acilación con ácidos orgánicos [27].

El método del pH diferencial ha sido empleado por diferentes horticultores y especialistas en alimentos para evaluar la calidad de las frutas y verduras tanto frescas como procesadas. Este método se suele emplear para determinar el contenido total de antocianinas. Para determinar la cantidad de antocianinas se realiza midiendo el cambio de absorbancia a 2 valores de pH distintos (3,4 y 2,0) propuesto por primera vez por Sondheimer y Kertesz en 1948. Desde ese momento, los investigadores proponen utilizar valores de pH de 1,0 y 4,5 (2-5) [27].

Las antocianinas monómero sufren una transformación estructural reversible en función del pH cuando se presenta la forma oxónio coloreada, la cual existe en un pH de 1.0 y en su forma incolora se encuentra en un pH de 4,5. La diferencia entre la absorbancia de los pigmentos a un espectro de 520 nm es proporcional a la concentración del pigmento. Los resultados se expresan en cianidina-3-glucósido. Las antocianinas degradadas de forma polimérica son resistentes a los cambios de color independiente al pH y no se incluyen en las mediciones porque absorben a un pH tanto de 4,5 como de 1,0 [27].

Determinación de polifenoles para antocianinas

Los polifenoles son compuestos bio sintetizados por plantas (como lo son los tallos, frutos, hojas, entre otros). La característica principal en la estructura de los polifenoles es poseer uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a uno o más anillos de benceno. Aunque se conocen principalmente por sus propiedades antioxidantes, mayoritariamente los polifenoles exhiben actividades benéficas para la salud. Generalmente cuentan con la mayor actividad antioxidante de frutas y verduras, que se clasifican en flavonoides y no flavonoides; los cuales generalmente se dividen en taninos hidrolizables que son ésteres del ácido gálico de la glucosa y otros azúcares, fenilpropanoides como la lignina, flavonoides y taninos condensados [28].

El ácido gálico es un fenólico natural soluble en agua, se emplea como estándar para las curvas de calibración para cuantificar polifenoles totales, su lectura generalmente es en mg de ácido/ 100 gr o ml de muestra. Este ácido está presente en frutas y verduras y se le atribuyen varios efectos biológicos como antiinflamatorio, antioxidante y antibiótico[28]

Para la determinación del contenido de antocianinas, las antocianinas cuando tienen un pH de 1,0 tienen una alta pigmentación y cuando están a un pH de 4,5 son incoloras técnicamente. En estos

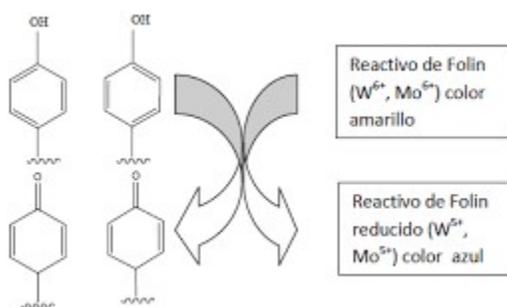
casos la alícuota de la solución acuosa de antocianinas se ajusta a un pH de 1,0 y la otra de 4,5. Las diferencias que se pueden encontrar en la absorbancia con la longitud de onda máxima de absorción será proporcional a la concentración de antocianinas [28]

Por otro lado, la determinación de polifenoles se dará por colorimetría, basándose por el método Folin-Ciocalteu, el cual consiste en reducir una solución alcalina, dando como resultado la formación de un complejo de coloración azul [28]

El método de Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales, se basa principalmente en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a un pH básico, permitiendo una coloración azul susceptible a ser determinada por medio de un espectrofotómetro a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido) de color amarillo, al ser reducido en grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, la intensidad es la que se mide para así evaluar el contenido de polifenoles. Se da por un mecanismo de reacción tipo redox, por lo que puede considerarse como un método para calcular o medir la actividad antioxidante total. [29]

Figura 9.

Mecanismo de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación de polifenoles.

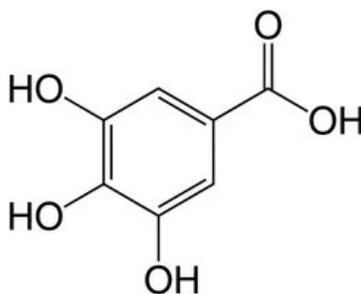


Nota: La figura muestra el mecanismo de acción al emplear el reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación de polifenoles. Tomado de: E. García Martínez, I. Fernández Segovia, and A. Fuentes López, “Determinación de polifenoles totales por el método de FolinCiocalteu.”

La oxidación de los polifenoles presente en la muestra genera la aparición de una coloración azul que presenta una absorción máxima a 765 nm y se cuantifica por medio de espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico. El cual se considera un método preciso y sensible que puede padecer numerosas variaciones, fundamentalmente relativas al volumen empleado de la muestra a analizar, concentración de los reactivos y los tiempos de reacción. También se pueden realizar variaciones en el método de expresar los resultados, pero se recomienda emplear el patrón de ácido gálico. Este estudio se realiza principalmente para identificar las propiedades antioxidantes de los alimentos vegetales, zumos de frutas o colorantes naturales, puesto que se trata de un parámetro que generalmente muestra una correlación con los distintos métodos existentes para determinar la actividad antioxidante [29]

Figura 10.

Estructura química del ácido gálico.



Nota: La figura muestra la estructura química del ácido gálico. Tomado de: E. García Martínez, I. Fernández Segovia, and A. Fuentes López, “Determinación de polifenoles totales por el método de FolinCiocalteu.”

1.3.Seguridad alimentaria

Cuando se habla de seguridad alimentaria, es esencial considerar cada parámetro contenido en un alimento antes de su ingesta, especialmente en el caso de los alimentos ultra procesados. Entre estos parámetros se incluyen la cantidad de edulcorantes, colorantes, grasas, azúcares, entre otros. La creciente preocupación sobre los efectos del colorante rojo No. 40 en la salud humana ha llevado a la identificación de los parámetros establecidos por entidades como la FAO (Food and

Agriculture Organization of the United Nations) y el Codex Alimentarius, que determinan los límites permitidos de consumo de cada aditivo alimentario.[30]

Para el colorante rojo No. 40, el Codex Alimentarius, en 2021, estableció un límite máximo de ingesta de 300 mg/kg. Sin embargo, algunos países tienen posturas diferentes; por ejemplo, en Indonesia, la dosis máxima permitida es de 70 mg/kg, clasificada por tipo de alimentos, y en el Reino Unido, la dosis máxima es de 150 mg/kg. En caso de exceder este límite, la cantidad máxima permitida varía entre 0 y 7 mg/kg de peso corporal.

En cuanto a la AIMC (Autoridad Internacional de la Movilidad y el Comercio), la evaluación más reciente realizada por el JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) sobre la seguridad del consumo de rojo allura en alimentos indicó que la ingesta máxima de este colorante fue de 2,9 mg/kg de peso corporal/día en el percentil 95 de niños de 3 a 9 años en Europa, bajo un enfoque conservador de fidelidad a la marca. No obstante, una estimación más realista sitúa la ingesta en hasta 1,2 mg/kg de peso corporal/día en el mismo percentil, asumiendo un escenario sin fidelidad a la marca y con el 100% de los productos conteniendo este colorante.

En los Estados Unidos, las estimaciones basadas en una encuesta alimentaria de dos días (que tiende a sobrestimar la exposición) muestran que la ingesta total de rojo allura en alimentos y bebidas se mantiene considerablemente por debajo de la Ingesta Diaria Admisible (IDA), alcanzando hasta 2,2 mg/kg de peso corporal/día en el percentil 90 en el supuesto de alta exposición y asumiendo que todos los productos contienen el colorante. Además, una ingesta más realista se sitúa en hasta 0,22 mg/kg de peso corporal/día en el percentil 95 del consumo, considerando las dosis máximas de uso y la frecuencia de productos en cada categoría alimentaria con este colorante, como se justifica en la etiqueta. El JECFA señaló que el rango de exposiciones alimentarias estimadas al rojo allura en alimentos y bebidas era considerablemente inferior a la IDA, oscilando entre el 0,4% y el 41% de la IDA, incluyendo la ingesta de los niños y considerando la estimación conservadora realizada por la EFSA (European Food Safety Authority) [30].

El uso de antocianinas en alimentos está regulado por el Codex Alimentarius y su aplicación en bebidas se permite con una ingesta diaria admisible (IDA) de 300 mg/kg, cuando la fuente es la piel de uva. El contenido máximo de antocianinas que puede estar presente en caramelos blandos es de 1700 mg/kg de producto cuando la fuente es la piel de uva. En 2018, Estados Unidos solicitó al Codex Alimentarius el uso del extracto de zanahoria negra, un colorante a base de antocianinas

permitido bajo el nombre del grupo (E163) o como colorante para “Zumos de hortalizas”, dependiendo del país [30].

1.4 Pruebas organolépticas

En cuanto a las pruebas organolépticas en los alimentos se puede medir por medio del uso de aditivos, pero también se puede realizar con ingredientes naturales [31]. En general existen cuatro grupos de características de los alimentos que se valoran para su consumo:

1. Características sensoriales u organolépticas: Color, sabor y olor de los alimentos.
2. Características físicas: Textura
3. Características nutricionales
4. Características temporales: Vida útil del alimento

Las cuatro principales características organolépticas de los alimentos son el color, sabor, olor y textura, las cuales son las que percibimos con nuestros sentidos, como lo son el gusto, la vista, el olfato y el tacto, los cuales son determinantes en una primera impresión del alimento que se quiere consumir [31].

En cuanto al color, es una de las características más importantes a la hora de que el consumidor compre algún alimento. Es la primera impresión y también permite identificar las reacciones químicas presentes en la vida útil del alimento, el cual inicia desde su fabricación hasta su consumo. Sin embargo, los cambios de color en los alimentos pueden verse afectados por la exposición a la luz o al aire, debido a que ambos catalizadores de la reacción bioquímica de formación de peróxidos responsables de la oxidación de los alimentos, lo cual pasa de tener un tono brillante a uno más oscuros en los alimentos frescos [31].

La medición del color es uno de los métodos más eficientes en mayoría de los casos para determinar el tipo de deterioro que presenta el color de forma técnica y sistemática. Técnicas como lo son la espectrofotometría o tecnologías como Minolta que funcionan para evaluar los cambios de color y emplean escalas bien definidas para comparar el color de alimentos tanto líquidos como sólidos [31].

En cuanto al olor, viene definido por distintas sustancias volátiles que se encuentran presentes en los alimentos, los cuales pueden provenir del mismo alimento de forma natural o responde a un proceso derivado de la incorporación de distintos aromas en el alimento. Es un método efectivo para determinar si un alimento ya perdió su vida útil o sigue siendo comestible [31].

Por otro lado, el sabor en la industria alimentaria está dividido en 5 tipos; dulce, salado, amargo, ácido y umami, los cuales se distinguen porque unos aparecen inmediatamente en el paladar y los otros se presentan de forma lenta [31].

Finalmente, en cuanto a la textura, es otro de los factores relevantes cuando se va a consumir un alimento, puesto que el tacto permite evaluar el estado en el que se encuentra el alimento y de esta forma adaptarlo a la preferencia del consumidor. Uno de los parámetros que se pueden evaluar en estos casos son la dureza, grosor, viscosidad o rigidez, de esta forma se puede clasificar en deseable o indeseable y automáticamente ser rechazado a la hora de consumirlo [31].

2. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LOS FRUTOS ROJOS

Introducción

La búsqueda de sustituir productos sintéticos por productos naturales ha aumentado debido a las crecientes problemáticas en la salud del consumidor, una de estas alternativas es la extracción de antocianinas.

En este capítulo se busca describir el método de extracción de los pigmentos a base de antocianinas considerando los sustratos empleados. Se abordarán 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.

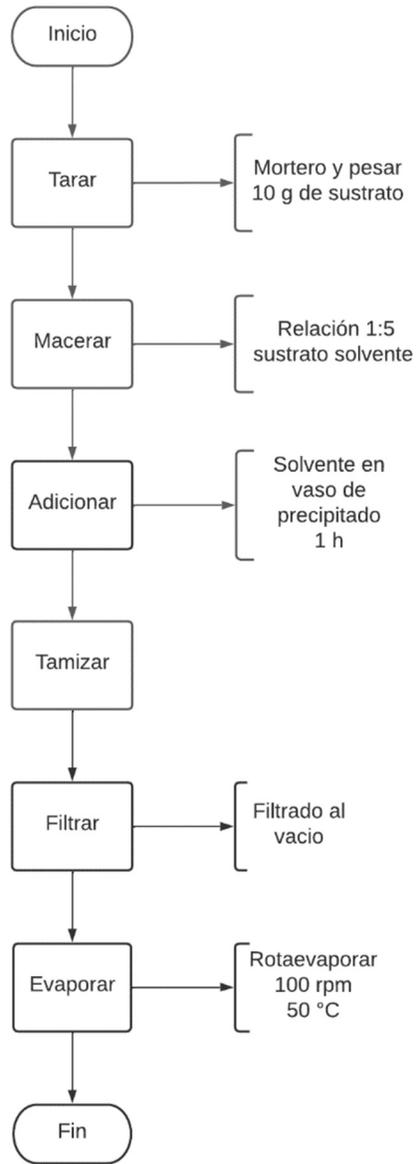
2.1. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales del carbonero rojo

Para la extracción de las antocianinas presentes en la flor del carbonero rojo se emplean dos métodos de arrastre de color, por medio de una extracción con solvente a temperatura ambiente y a una alta temperatura. Se emplea el etanol al 96% como solvente debido a su alta polaridad permite hacer un barrido de color efectivo, por esta razón se emplean relaciones de 1:5 en volumen de solvente a concentraciones del 95%, 80% y 50% para determinar cuál de las relaciones y concentración funciona de manera efectiva dando como resultado una tonalidad similar a la del colorante rojo No. 40.

Diagrama de flujo

Figura 11.

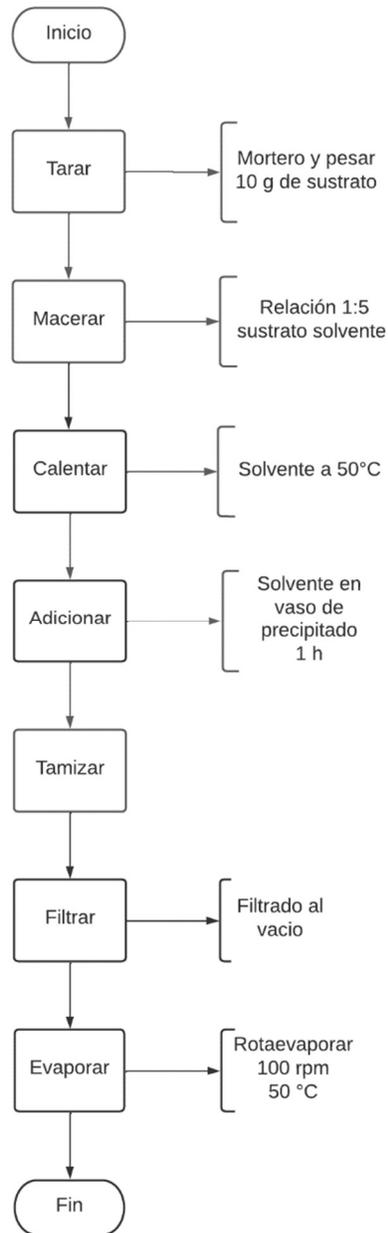
Diagrama de flujo de extracción a temperatura ambiente.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo para realizar la extracción a temperatura ambiente de los sustratos. Elaboración propia.

Figura 12.

Diagrama de flujo de extracción en caliente.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo para realizar la extracción en caliente de los sustratos.
Elaboración propia.

Tabla de concentraciones

Tabla 7.

Concentraciones del solvente vs el tiempo de exposición del sustrato.

Tipos de extracción	Tipo de solvente	Concentración % v/v	Tiempo (min)
Extracción en frío	Etanol 96%	95	90
		80	100
		50	110
Extracción en caliente	Etanol 96%	95	80
		80	70
		50	60

Nota: La tabla muestra las concentraciones y el tiempo de exposición del solvente para realizar la extracción de los sustratos. Elaboración propia.

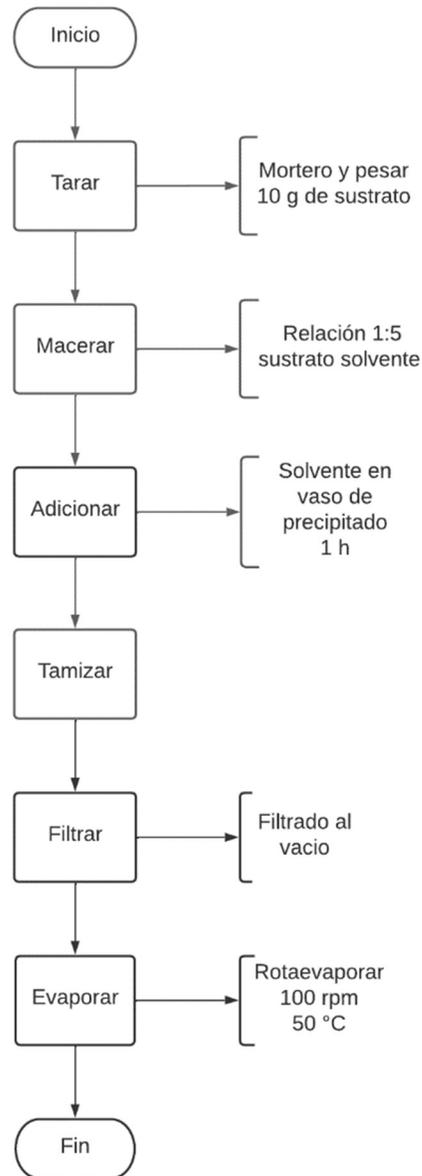
2.2. Procedimiento de extracción de pigmentos naturales de la flor de Jamaica

Para extraer las antocianinas presentes en la flor de Jamaica se emplea la misma metodología para el arrastre de color, realizada con un solvente con dos temperaturas para determinar cuál es el método más efectivo. Se emplea el etanol al 96% como solvente debido a su alta polaridad, el cual permite hacer un barrido de color efectivo, por esta razón se emplea una relación de 1:5 en volumen de solvente a concentraciones del 95%, 80% y 50% para determinar cuál de las relaciones y concentración funciona de manera efectiva dando como resultado una tonalidad similar a la del colorante rojo No. 40.

Diagrama de flujo

Figura 13.

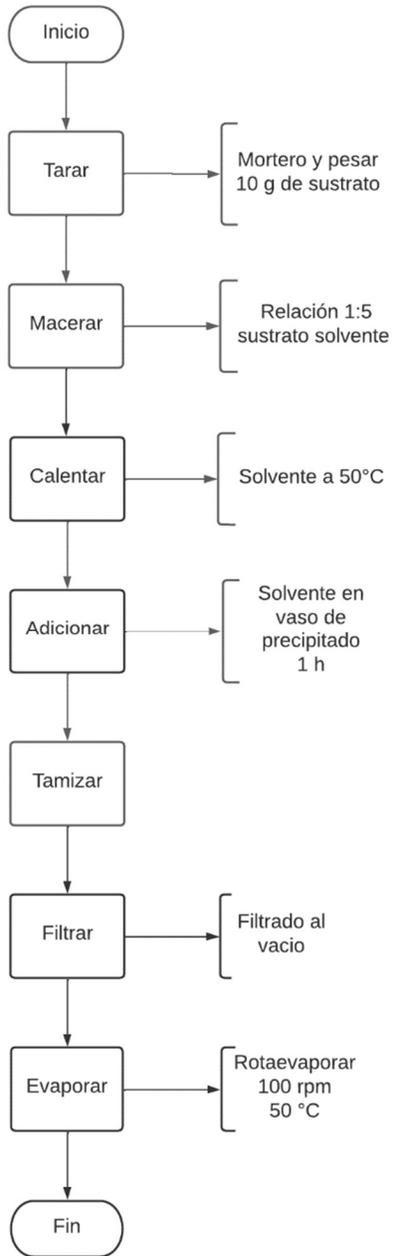
Diagrama de flujo de extracción a temperatura ambiente.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo para realizar la extracción a temperatura ambiente de los sustratos. Elaboración propia.

Figura 14.

Diagrama de flujo de extracción en caliente.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo para realizar la extracción en caliente de los sustratos.
Elaboración propia.

Tabla de concentraciones

Tabla 8.

Concentraciones del solvente vs el tiempo de exposición del sustrato.

Tipos de extracción	Tipo de solvente	Concentración % v/v	Tiempo (min)
Extracción en frío	Etanol 96%	95	90
		80	100
		50	110
Extracción en caliente	Etanol 96%	95	80
		80	70
		50	60

Nota: La tabla muestra las concentraciones y el tiempo de exposición del solvente para realizar la extracción de los sustratos. Elaboración propia.

2.3. Resultados de la extracción

En cuanto a los resultados obtenidos al momento de la extracción, se inicia el proceso con la maceración de los sustratos, tomando 10 gramos del sustrato; como se mencionó previamente, se realizaron en total seis extracciones por cada sustrato, tres a una temperatura ambiente, entre los 18° Celsius o 20° Celsius y las otras tres a una temperatura de 50° Celsius a 52° Celsius. El objetivo de realizar estos dos métodos es verificar cual es el más efectivo para realizar el arrastre de color.

Figura 15.

Peso flor de Carbonero rojo.

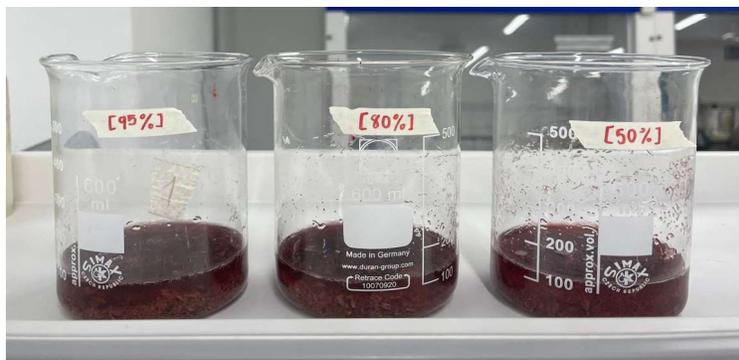


Nota: La figura muestra el peso exacto de la flor de carbonero rojo para realizar la extracción. Elaboración propia.

Para el caso del carbonero rojo, los tonos obtenidos con la extracción en frío dieron tonos un poco más vino en comparación de las extracciones en caliente, el arrastre de color es más lento en frío, puesto que, al elevar la temperatura, el desprendimiento del color es notorio y su vez toma propiedades del sustrato que permiten un cambio de color en comparación al de temperatura ambiente.

Figura 16.

Extracción del carbonero rojo en frío



Nota: La figura muestra la extracción a las tres concentraciones del sustrato. Elaboración propia.

Como se puede apreciar, se realizaron tres experimentos a concentraciones del 50%, 80% y 95% de etanol, con una relación 1:5 entre el sustrato y el solvente. La tonalidad de las tres muestras son un tono rojo vino tinto y se logra evidenciar en los filamentos de la flor, tonalidades rojas que se quedaron allí concentradas, luego de este proceso, pasa por un tamiz para separar los filamentos de la flor; del líquido obtenido, posteriormente se termina de separar por medio de una filtración al vacío obteniendo un volumen de 100 mililitros, que pasa al rota evaporador con el fin de eliminar el solvente y de esta forma tener únicamente el sustrato con el agua de la evaporación obteniendo un volumen menor pero con el color concentrado.

Figura 17.

Sustrato obtenido luego de realizar la rota evaporación.



Nota: La figura muestra el sustrato en el rotaevaporador para retirar el solvente del sustrato. Elaboración propia.

Al realizar el mismo proceso con los tres experimentos en caliente, lo primero que se hacía era medir las respectivas concentraciones y posteriormente poner el solvente en un Erlenmeyer y calentarlo con agitación constante mediante un agitador magnético hasta alcanzar la temperatura óptima sin que se logre evaporar el solvente.

Figura 18.

Temperatura óptima del solvente para agregar al sustrato.



Nota: La figura muestra el solvente siendo elevado a una temperatura de 50° Celsius para ser agregado al sustrato. Elaboración propia.

Se realizó el mismo proceso para los dos experimentos restantes y posteriormente se agregó el solvente caliente al vaso de precipitado con los sustratos previamente macerados.

Figura 19.

Extracción del carbonero rojo en caliente.

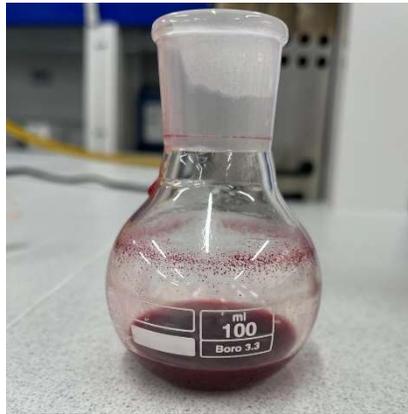


Nota: La figura muestra la extracción a las tres concentraciones del sustrato en caliente. Elaboración propia.

Si se observa detalladamente, los filamentos de la flor en cada uno de los vasos de precipitado toman una tonalidad blanca puesto que, al adicionar el solvente, realiza de una manera casi que inmediata el arrastre del color de estos. El volumen luego de realizada la rota evaporación disminuye significativamente sin embargo las coloraciones tienen un cambio notable.

Figura 20.

Sustrato obtenido luego de realizar la rota evaporación.



Nota: La figura muestra el sustrato en el rotaevaporador para retirar el solvente del sustrato. Elaboración propia.

Por otro lado, para la flor de Jamaica, se realizó exactamente el mismo procedimiento, se inició con la maceración del sustrato luego de ser previamente procesado puesto que la flor de Jamaica se consigue seca y se dificulta la maceración de esta manera.

Figura 21.

Peso flor de Jamaica procesada.



Nota: La figura muestra el peso de la flor de Jamaica. Elaboración propia.

Para el caso de la flor de Jamaica, los tonos obtenidos con la extracción en frío fueron tonos entre fucsia y morado, el arrastre de color es más lento en frío, puesto que, al elevar la temperatura, el desprendimiento del color es notorio y su vez toma propiedades del sustrato, sin embargo, el color se mantiene igual tanto en frío como en caliente.

Figura 22.

Extracción de la flor de Jamaica en frío.



Nota: La figura muestra la extracción del sustrato a temperatura ambiente con sus tres concentraciones. Elaboración propia.

Se realizaron tres experimentos a concentraciones del 50%, 80% y 95% de etanol, con una relación 1:5 entre el sustrato y el solvente. La tonalidad de las tres muestras son un tono fucsia; se pasa

primero por un tamiz con el fin de separar el sólido del líquido, posteriormente se termina de separar por medio de una filtración al vacío obteniendo un volumen de 100 mililitros, que pasa al rota evaporador con el fin de eliminar el solvente y de esta forma tener únicamente el sustrato con el agua de la evaporación obteniendo un volumen menor pero con el color concentrado, las tonalidades fucsias se tornan más rojizas al separar el solvente.

Figura 23.

Extracto de la flor de Jamaica luego de retirar el solvente.



Nota: La figura muestra el sustrato luego de pasar por el rotaevaporador para retirar el solvente. Elaboración propia.

Al realizar el mismo proceso con los tres experimentos en caliente, lo primero que se realizó fue medir las respectivas concentraciones y posteriormente poner el solvente en un vaso de precipitado y calentarlo con agitación constante mediante un agitador magnético hasta alcanzar la temperatura óptima sin que se logre evaporar el solvente.

Figura 24.

Temperatura óptima del solvente para agregar al sustrato.

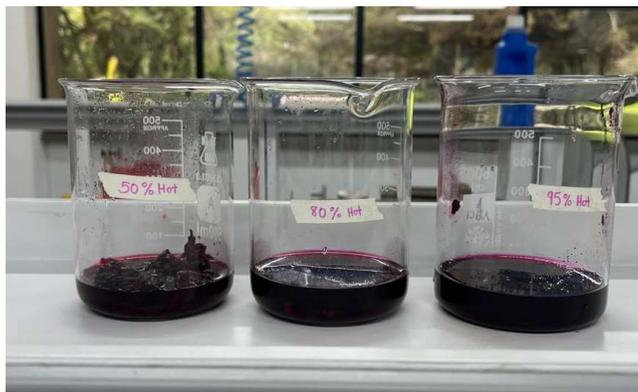


Nota: La figura muestra el solvente siendo elevado a una temperatura de 50° Celsius para ser agregado al sustrato. Elaboración propia

Se realizó el mismo proceso para los dos experimentos restantes y posteriormente se agregó el solvente caliente al vaso de precipitado con los sustratos previamente macerados.

Figura 25.

Extracción de la flor de Jamaica en caliente.



Nota: La figura muestra la extracción del sustrato en caliente con sus tres concentraciones. Elaboración propia.

No se vieron diferencias en la extracción con las dos temperaturas, se mantuvieron las tonalidades fucsias, luego de este proceso, fueron llevadas a la rota evaporadora todas las muestras para tener únicamente los sustratos.

Figura 26.

Extracto de la flor de Jamaica luego de retirar el solvente.



Nota: La figura muestra el sustrato en el rotaevaporador para retirar el solvente del sustrato.
Elaboración propia.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS

Introducción

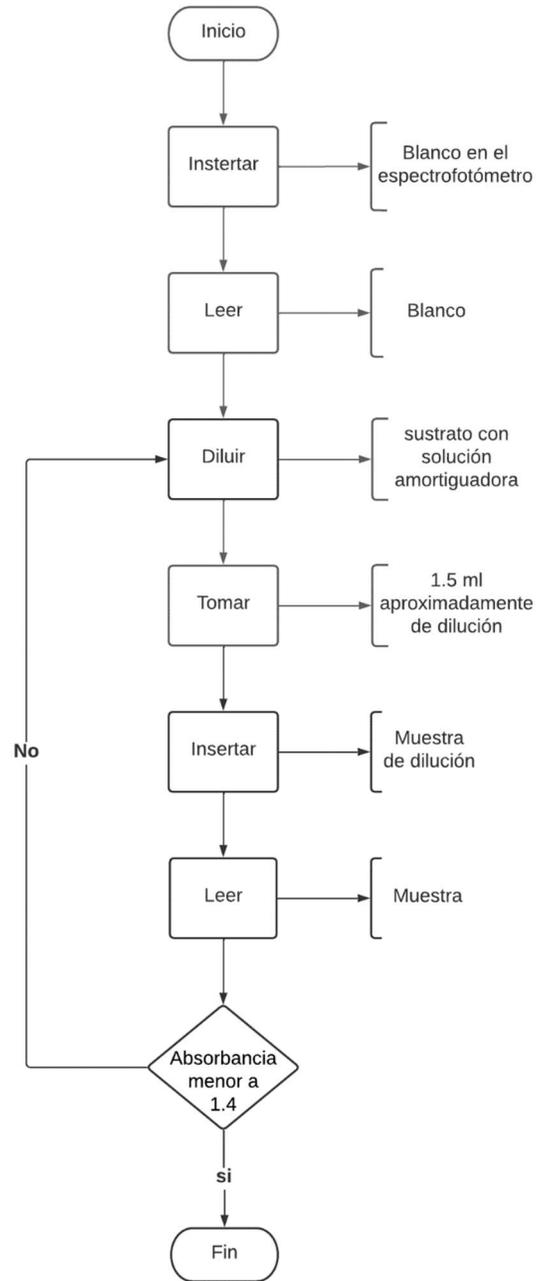
Para caracterizar los colorantes obtenidos, en el caso de las antocianinas, se empleó el método oficial 2005.02 de la AOAC. Para esto se usará un espectrofotómetro con el fin de realizar un barrido de los sustratos obtenidos, el cual leerá con un rango de longitud de onda de 520 nanómetros a 700 nanómetros. Se prepararon dos soluciones amortiguadoras, una de pH 1,0 y otra de pH 4,5 (debido a la estabilidad de las antocianinas) buscando corregir la turbidez de la muestra y que la absorbancia se encuentre entre 0,2 y 1,4 como indica la norma, para luego realizar el cálculo de la cantidad de antocianinas presentes en la muestra.

3.1. Caracterización de la concentración de antocianinas

Diagrama de flujo

Figura 27.

Diagrama de flujo para la caracterización de la concentración de antocianinas.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo para la caracterización de los sustratos obtenidos.
Elaboración propia.

Según la norma AOAC para determinar la concentración de antocianinas, se emplea el método espectrofotométrico de pH diferencias, el cual consiste en la transformación estructural de las antocianinas cromóforas en función del pH, empleando una espectroscopía óptica con ligeras modificaciones. El método se realiza tomando 1 mililitro del extracto a evaluar y se realizan diversas disoluciones con cada muestra amortiguadora, para la muestra amortiguadora de pH 1,0 se emplea 1,86 gramos de cloruro de potasio al 0,025 Molar, adicionando 980 mililitros de agua destilada, seguido a esto, se toma la medición del pH y de ser necesario, se debe ajustar empleando aproximadamente 6,3 mililitros de ácido clorhídrico, se deposita en un balón aforado de 1 litro, se diluye con agua destilada y finalizado esto el pH es ajustado. Para el caso de la muestra amortiguadora de pH 4,5 se emplean 54,43 gramos de acetato de sodio, se adicionan 960 mililitros de agua destilada, se verifica el valor de pH y se ajusta aproximadamente 20 mililitros de ácido clorhídrico, se deposita en un balón aforado de 1 litro, se diluye con agua destilada y finalizado esto el pH es ajustado.

Listas las soluciones amortiguadoras, se mide la absorbancia con cada dilución, verificando que cumpla con el parámetro especificado en la norma (Gran parte de los espectrofotómetros deben tener una absorbancia entre 0,2 y 1,4) realizando las diluciones con cada experimento realizado y sus respectivas réplicas.

Figura 28.

Dilución del sustrato con la solución amortiguadora.



Nota: La figura muestra la dilución del sustrato para realizar la toma del espectrofotómetro. Elaboración propia.

Al tener la disolución se deposita en una celda aproximadamente 1,5 mililitros con el fin de realizar el barrido de cada muestra.

Figura 29.

Curva de absorbancia a 520 nanómetros y 700 nanómetros respectivamente muestra del carbonero rojo 50% frío.



Nota: La figura muestra las curvas de absorbancia de la muestra a 520 nanómetros y 700 nanómetros según la norma empleada. Elaboración propia.

Se realiza este procedimiento con cada uno de los sustratos obtenidos, las muestras originales y las replicas, para un total de 24 experimentos.

Cálculos

Para facilitar la lectura del diseño de experimentos y la identificación de cada uno, se realiza una tabla con el número de experimento y su respectiva abreviación.

Tabla 9.

Abreviaturas para la identificación de experimentos del carbonero rojo.

Experimento	Número de experimento	Abreviatura
1	50% carbonero frío	FC50F
2	80% carbonero frío	FC80F
3	95% carbonero frío	FC95F
4	50% carbonero caliente	FC50C
5	80% carbonero caliente	FC80C
6	95% carbonero caliente	FC95C
7	50% replica carbonero frío	RFC50F
8	80% replica carbonero frío	RFC80F
9	95% replica carbonero frío	RFC95F
10	80% replica carbonero caliente	RFC80C
11	95% replica carbonero caliente	RFC95C

Nota: La tabla muestra las abreviaciones realizadas para la identificación de los experimentos de carbonero rojo. Elaboración propia.

Tabla 10.

Abreviaturas para la identificación de experimentos de la flor de Jamaica.

Experimento	Número de experimento	Abreviatura
1	50% flor de jamaica frío	FJ50F
2	80% flor de jamaica frío	FJ80F
3	95% flor de jamaica frío	FJ95F
4	50% flor de jamaica caliente	FJ50C
5	80% flor de jamaica caliente	FJ80C
6	95% flor de jamaica caliente	FJ95C
7	50% replica flor de jamaica frío	RFJ50F
8	80% replica flor de jamaica frío	RFJ80F
9	95% replica flor de jamaica frío	RFJ95F
10	50% replica flor de jamaica caliente	RFJ50C
11	80% replica flor de jamaica caliente	RFJ80C
12	95% replica flor de jamaica caliente	RFJ95C

Nota: La tabla muestra las abreviaciones realizadas para la identificación de los experimentos de la flor de Jamaica. Elaboración propia.

Al obtener todas las absorbancias, se emplea la fórmula para la determinación de la cantidad de miligramos por litro de antocianinas presentes en los experimentos expresada como 3-Glucosido cianidina equivalente de la siguiente manera:

$$\frac{A * PM * FD * 10^3}{\epsilon * 1}$$

Donde

A= A la absorbancia a 520 y 700 nm en ambos pH

PM= Es el peso molecular para la 3-Glucosido cianidina de 449,2 g/mol

FD= Es el factor de dilución para cada experimento

10³= Factor de conversión de g a mg

ε= Es el coeficiente de extinción molar con un valor de 26.900 L*mol⁻¹*cm⁻¹

Se modifico respecto a bibliografía la fórmula respecto al factor de dilución y la absorbancia [32], puesto que para cada experimento se obtuvieron factores de dilución diferentes, por lo cual, la fórmula se reexpresaría de la siguiente forma:

$$\frac{((A_{520} - A_{700} * FD \text{ pH } 1,2) - (A_{520} - A_{700} * FD \text{ pH } 4,5)) * PM * 10^3}{\epsilon * 1}$$

Donde se toma el factor de dilución con el que se realizó cada experimento, multiplicado por la resta de ambos valores para cada pH, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11.

Resultados caracterización de antocianinas para el carbonero rojo.

#	Cantidad (g)	solvente (mL)	Volúmen luego de rota evaporar (mL)	Abs 520 pH 1,0	Abs 700 pH 1,0	Abs 520 pH 4,5	Abs 700 pH 4,5	Dilución pH 1,0	Dilución pH 4,5	Concentración antocininas (mg/mL)	Cantidad total de antocianinas(mg)	Promedio	Desviación estandar
1	10	100	50	0,880	0,076	0,869	0,007	12	3	0,118	5,896	3,319	1,956
2	10	100	20	0,813	0,008	1,132	0,104	24	5	0,237	4,736		
3	10	100	5	0,980	0,002	0,551	0,043	80	24	1,103	5,515		
4	10	100	50	0,672	0,005	1,008	0,016	12	4	0,067	3,370		
5	10	100	20	0,855	0,007	0,871	0,406	24	6	0,293	5,865		
6	10	100	5	1,035	0,104	0,861	0,044	40	7	0,526	2,632		
7	10	100	50	0,830	0,041	0,704	0,242	6	3	0,056	2,795		
8	10	100	20	0,882	0,008	0,322	0,027	6	5	0,063	1,259		
9	10	100	5	0,966	0,022	0,748	0,086	12	4	0,145	0,725		
10	10	100	20	1,086	0,092	0,631	0,109	12	6	0,147	2,938		
11	10	100	5	1,197	0,008	0,717	0,011	12	7	0,156	0,779		

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos en la caracterización de antocianinas para el carbonero rojo. Elaboración propia.

Tabla 12.*Resultados caracterización de antocianinas para la flor de Jamaica.*

#	Cantidad (g)	solvente (mL)	Volúmen luego de rota evaporar (mL)	Abs 520 pH 1,0	Abs 700 pH 1,0	Abs 520 pH 4,5	Abs 700 pH 4,5	Dilución pH 1,0	Dilución pH 4,5	Concentración antocianinas (mg/mL)	Cantidad total de antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estandar
1	10	100	50	1,272	0,025	0,936	0,060	48	6	0,912	45,588	22,743	17,374
2	10	100	20	0,736	0,018	1,224	0,089	96	6	1,037	20,746		
3	10	100	5	0,979	0,011	0,638	0,036	192	24	2,862	14,312		
4	10	100	50	1,285	0,015	0,977	0,049	48	6	0,925	46,249		
5	10	100	20	0,999	0,019	0,702	0,051	192	24	2,881	57,623		
6	10	100	5	1,205	0,014	0,429	0,03	192	48	3,499	17,494		
7	10	100	50	0,593	0,004	0,87	0,049	48	12	0,308	15,380		
8	10	100	20	0,841	0,001	0,856	0,031	48	12	0,508	10,160		
9	10	100	5	0,686	0,016	1,386	0,093	96	12	0,815	4,075		
10	10	100	50	0,672	0,001	0,502	0,041	48	12	0,445	22,273		
11	10	100	20	0,957	0,005	0,803	0,055	48	12	0,613	12,264		
12	10	100	5	1,162	0,007	1,323	0,076	96	24	1,352	6,759		

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos en la caracterización de antocianinas para la flor de Jamaica. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el caso del carbonero rojo, se observa que, a mayor concentración de etanol, el sustrato tiene una mayor concentración de antocianinas frente a una concentración menor de solvente. Sin embargo, se encuentra una diferencia entre las muestras originales y las réplicas a concentración del 80% y 95%.

Para la concentración del FC50F, se obtuvo un total de 5,896 mg de antocianinas presentes en el extracto, en cuanto al FC95C, se obtuvo un total de 5,865 mg. La concentración de antocianinas presentes en la flor de carbonero rojo es menor respecto a las obtenidas en la flor de Jamaica, los mejores extractos fueron FJ50C y FJ80C con unos valores de 46,249 y 57,623 mg respectivamente. A partir de los datos recolectados se calcularon medidas de tendencia central como lo son el promedio y la desviación estándar para identificar la relación de los datos.

El promedio y la desviación estándar para el carbonero rojo fueron de 3,319 y 1,956 respectivamente, por lo cual se puede analizar que los datos de todas las muestras fueron cercanos, de tal forma que hay una homogeneidad en los datos; sin embargo, los resultados de la flor de Jamaica son muy altos, dando un promedio de 22,743 y una desviación estándar de 17,374.

Cada resultado varió significativamente de acuerdo con las condiciones de operación, el proceso previo a la extracción, las condiciones de almacenamiento y la diferencia de cosechas de ambas flores, sobre todo del carbonero rojo.

Se realizó adicionalmente el cálculo del promedio y la desviación estándar para cada muestra y su respectiva réplica organizadas en par de experimentos y se compila en las siguientes tablas.

Tabla 13.*Promedio y desviación estándar por par de experimentos para el carbonero rojo.*

Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
1	FC50F	5,896	4,346	2,193
7	RFC50F	2,795		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
2	FC80F	4,736	2,997	2,459
8	RFC80F	1,259		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
3	FC95F	5,515	3,120	3,387
9	RFC95F	0,725		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
5	FC80C	5,865	4,401	2,070
10	RFC80C	2,938		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
6	FC95C	2,632	1,705	1,310
11	RFC95C	0,779		

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos realizando el promedio y la desviación estándar por cada par de experimentos para el carbonero rojo. Elaboración propia.

Tabla 14.*Promedio y desviación estándar por par de experimentos para la flor de Jamaica.*

Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
1	FJ50F	45,588	30,484	21,360
7	RFJ50F	15,380		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
2	FJ80F	20,746	15,453	7,486
8	RFJ80F	10,160		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
3	FJ95F	14,312	9,193	7,238
9	RFJ95F	4,075		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
4	FJ50C	46,249	34,261	16,954
10	RFJ50C	22,273		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
5	FJ80C	57,623	34,943	32,074
11	RFJ80C	12,264		
Par de experimentos	Abreviación	Cantidad total antocianinas (mg)	Promedio	Desviación estándar
6	FJ95C	17,494	12,126	7,591
12	RFJ95C	6,759		

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos realizando el promedio y la desviación estándar por cada par de experimentos para la flor de Jamaica. Elaboración propia.

Adicionalmente se realizó un ANOVA de un factor con todas las muestras para lograr analizar el comportamiento de los datos, el ANOVA muestra una diferencia significativa en las condiciones experimentales. Esto sugiere que las condiciones bajo las cuales se realizaron los experimentos poseen un efecto significativo en las medidas observadas. En este contexto, podría implicar que las variaciones en las condiciones experimentales (pH, temperatura, etc.) afectan significativamente la concentración de antocianinas en las muestras analizadas, por esta razón se analiza cada uno de los resultados obtenidos.

Tabla 15.

Datos globales para el ANOVA

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	11	36,509	3,319	3,828
Columna 2	12	272,922	22,743	301,843

Nota: La tabla muestra los resultados globales obtenidos al realizar el ANOVA de un factor para todos los datos. Elaboración propia.

Tabla 16.

ANOVA de un factor para los resultados de espectrofotometría.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2165,430	1	2165,430	13,540	0,001	4,325
Dentro de los grupos	3358,554	21	159,931			
Total	5523,984	22				

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos al realizar el ANOVA de un factor para todos los datos. Elaboración propia

Valor F: La estadística F es 13,540. Un valor F alto indica que hay una gran diferencia entre los grupos en comparación con la variabilidad dentro de los grupos.

Valor p: El valor p es 0,001, que es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado (0,05). Esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos.

Valor crítico para F: El valor crítico para F a un nivel de significancia de 0,05 es 4,325. Dado que el valor F calculado (13,540) es mayor que este valor crítico, rechazamos la hipótesis nula de que no hay diferencia entre los grupos.

3.2. Análisis del color de los extractos según pH

De acuerdo a los resultados de color obtenidos al aplicar la norma AOAC, en la figura 30 se observa que al aplicar la solución amortiguadora de Ph 1,0, el sustrato toma una tonalidad anaranjada respecto a su color original. La muestras están organizadas de FC50F, FC80F, FC95F, FC50C y FC80C respectivamente. No se tiene la muestra del FC95C debido a que la muestra fue desechada antes de tomar la figura.

Figura 30.

Muestras del carbonero rojo a pH de 1,0.



Nota: La figura presenta las muestras de carbonero expuestas al pH de 1,0. Elaboración propia.

Por otro lado, respecto a las muestras con el pH de 4,5, se obtuvo como resultado tonalidades más rojas. Debido a que el pH de 1,0 tiene como propósito decolorar la sustancia a evaluar, en cambio el pH de 4,5 estabiliza el color de la muestra cómo se evidencia en la figura 31.

Figura 31.

Muestras del carbonero rojo a pH de 4,5.

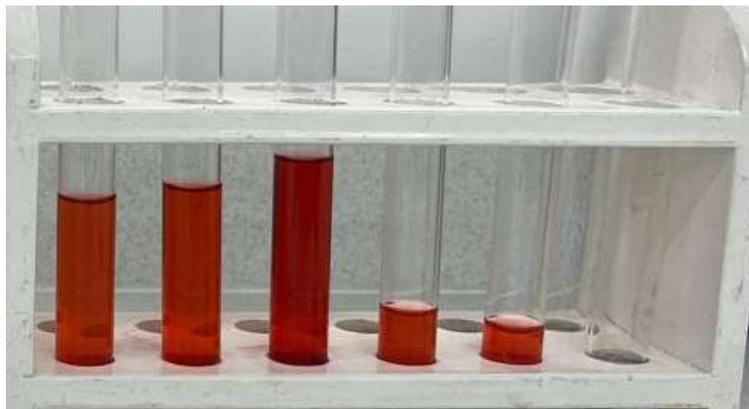


Nota: La figura presenta las muestras de carbonero expuestas al pH de 4,5. Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento con las réplicas como se evidencia en la figura 32 y 33.

Figura 32.

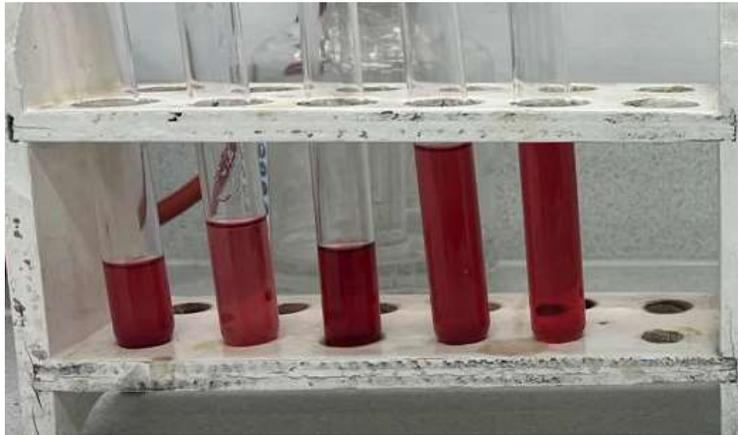
Réplicas muestra del carbonero rojo a pH de 1,0.



Nota: La figura presenta las réplicas del carbonero expuestas al pH de 1,0. Elaboración propia.

Figura 33.

Réplicas muestra del carbonero rojo a pH de 4,5.

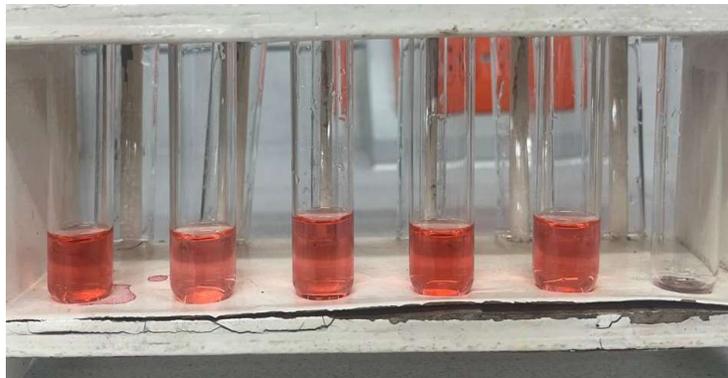


Nota: La figura presenta las réplicas del carbonero expuestas al pH de 4,5. Elaboración propia.

En cuanto a los resultados obtenidos con la flor de Jamaica al emplear la solución amortiguadora de pH 1,0, se puede observar que toma una tonalidad rosa leve en el orden de FJ50F, FJ80F, FJ95F, FJ50C y FJ80C. No se evidencia la muestra del FJ95C puesto que se dispuso antes de tomar la figura.

Figura 34.

Muestras de la flor de Jamaica a pH de 1,0.



Nota: La figura presenta las muestras de la flor de Jamaica expuestas al pH de 1,0. Elaboración propia.

Por otro lado, al emplear la solución amortiguadora de pH 4,5, se obtienen tonalidades más moradas al ser estabilizada la muestra por el pH como se evidencia en la figura 35.

Figura 35.

Muestras de la flor de Jamaica a pH de 4,5.



Nota: La figura presenta las muestras de la flor de Jamaica expuestas al pH de 4,5. Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento con las réplicas como se evidencia en las figuras 36 y 37.

Figura 36.

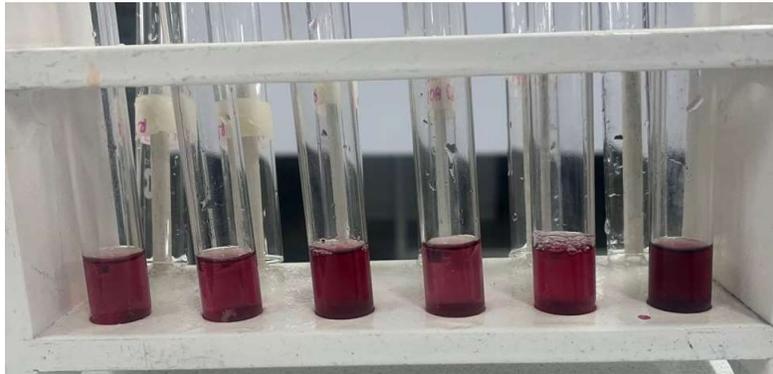
Replica muestras de la flor de Jamaica a pH de 1,0.



Nota: La figura presenta las réplicas de la flor de Jamaica expuestas al pH de 1,0. Elaboración propia.

Figura 37.

Replica muestras de la flor de Jamaica a pH de 4,5.

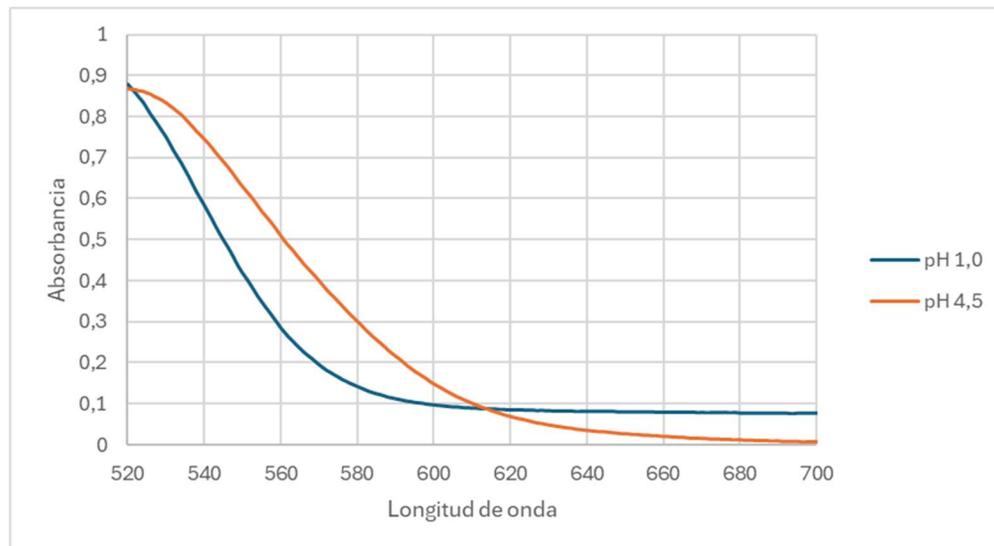


Nota: La figura presenta las réplicas de la flor de Jamaica expuestas al pH de 4,5. Elaboración propia.

A continuación, se realizaron las gráficas de las muestras con una concentración alta de antocianinas para cada matriz vegetal (Del carbonero son el FC50F y FC80C y para la flor de Jamaica el FJ50C y FJ80C).

Figura 38.

Curva de barrido del espectrofotómetro para FC50F.

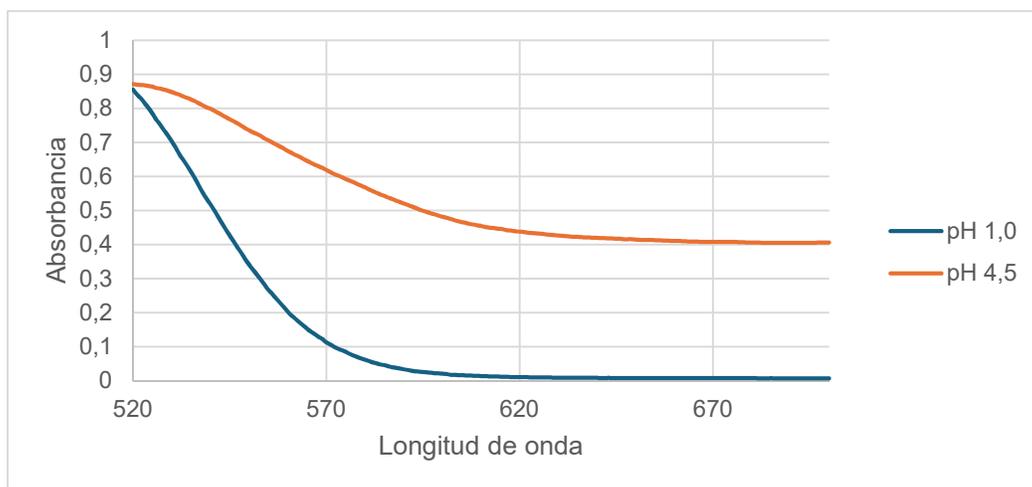


Nota: La figura muestra la curva de barrido del espectrofotómetro para FC50F. Elaboración propia.

De la figura 38 se puede analizar que la curva no presenta picos máximos de antocianinas, sin embargo, el punto más alto de la curva para ambos pH es entre 520 y 540, lo cual indica que se encuentra en la región visible de la longitud de onda para la medición de antocianinas.

Figura 39.

Curva de barrido del espectrofotómetro para FC80C.

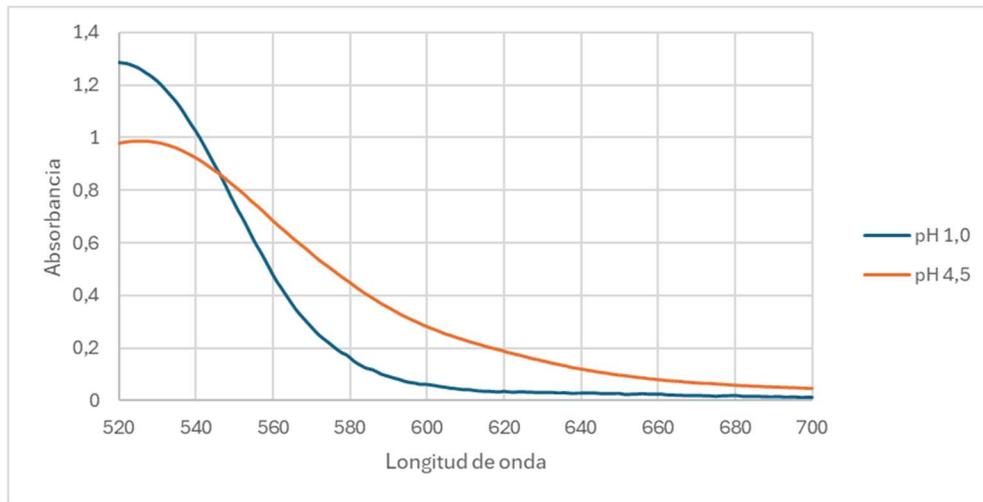


Nota: La figura muestra la curva de barrido del espectrofotómetro para FC80C. Elaboración propia.

En cuanto a la figura 39 se logró analizar que se obtuvo una diferencia en las curvas de ambos pH notoria, demostrando así la influencia de los factores de dilución para cada uno.

Figura 40.

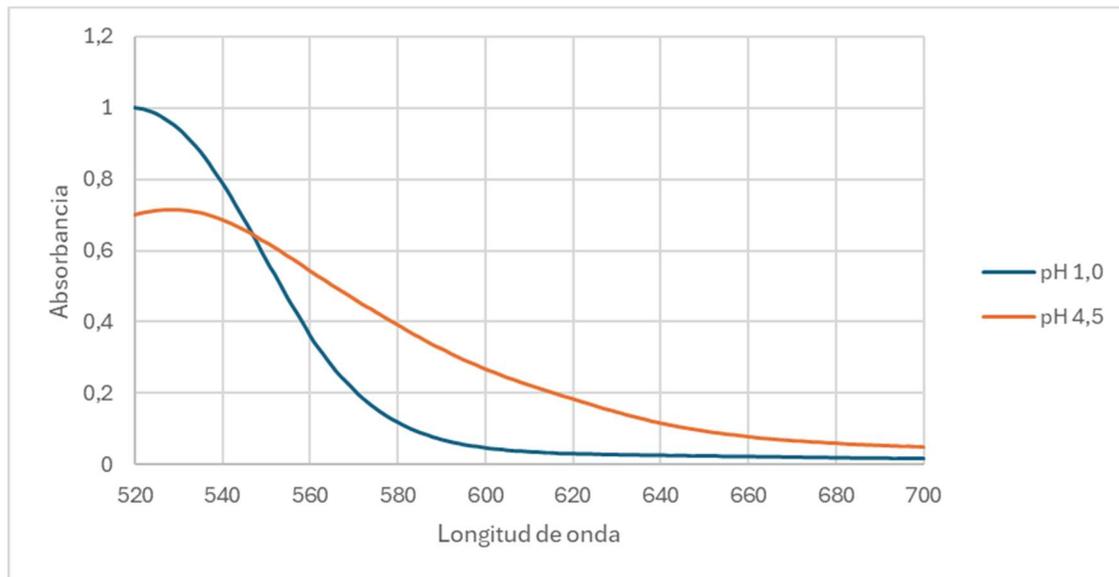
Curva de barrido del espectrofotómetro para FJ50C.



Nota: La figura muestra la curva de barrido del espectrofotómetro para FJ50C. Elaboración propia.

Figura 41.

Curva de barrido del espectrofotómetro para FJ80C.



Nota: La figura muestra la curva de barrido del espectrofotómetro para FJ80C. Elaboración propia.

El pH juega un papel muy importante en la estructura molecular, la estabilidad de las antocianinas e incluso, su color. Cuando las antocianinas están presentes en un medio ácido, esta funcionaría como una capa protectora sobre la molécula. Al ser expuestas las antocianinas a soluciones con un pH inferior a dos, el pigmento se encuentra en su forma más estable por el catión flavilio (AH^+) con tonalidades rojas intensas. [33]

3.3. Comparación de los pigmentos obtenidos con el colorante Rojo 40

Para a comparación del colorante obtenido frente al sintético que se busca reemplazar, se realizaron 2 pruebas para verificar la eficiencia de este. La primera prueba realizada fue una prueba organoléptica, en la que se decidió cocinar el colorante con las muestras más altas en concentración de antocianinas para verificar su similitud en color, junto con el olor, color y textura que tome el producto al usar las muestras orgánicas frente a la sintética y también se probó en un yogurt natural con el fin de verificar su comportamiento en los lácteos debido al pH de estos.

Figura 42.

Prueba organoléptica en pastelillos.



Nota: La figura muestra la prueba organoléptica en pastelillos de cada muestra comparándolos con el colorante que se busca reemplazar. Elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la figura 42, se realizaron pastelillos con la receta normal, con el fin de verificar si el color obtenido al compararlo con el sintético presentaba alteraciones o se mantenían las tonalidades rojas utilizando 1 mililitro de cada muestra. Los pastelillos están organizados de izquierda a derecha, los dos primeros son la muestra base del colorante rojo 40, empleando la misma relación de dilución que las muestras de colorante natural (10 gramos del colorante disueltos en 100 mililitros de agua), los ubicados en el medio son los pastelillos realizados añadiendo el colorante obtenido a partir del carbonero rojo, como se logra evidenciar no tuvo ninguna pigmentación la muestra FC50F y FC80C, finalmente los pastelillos ubicados en la esquina derecha, son los realizados con la flor de Jamaica, con las muestras FJ50C y FJ80C, el color que tomaron ambas es de un azul-violeta, el tono más oscuro fue obtenido por la muestra FJ80C puesto que es la que tiene la mayor concentración de antocianinas.

Figura 43.

Prueba organoléptica en kumis con muestra de carbonero rojo.



Nota: La figura muestra la prueba organoléptica en el kumis de cada muestra del carbonero rojo comparándolos con el colorante que se busca reemplazar. Elaboración propia.

Cuando se realizó la prueba en el yogur natural, en este caso fue kumis empleando 5 mililitros para adicionar cada muestra de color, la flor de carbonero rojo si presenta una pigmentación rosada clara, lo que significa que las antocianinas se comportan bien en el medio donde se mezclaron, la coloración es leve debido a los gramos de antocianinas presente en cada una de las muestras, organizadas con el colorante rojo 40 (izquierda), muestra FC50F (centro) y finalmente la muestra FC80C (derecha).

Figura 44.

Prueba organoléptica en kumis con muestra de flor de Jamaica.



Nota: La figura muestra la prueba organoléptica en el kumis de cada muestra de la flor de Jamaica comparándolos con el colorante que se busca reemplazar. Elaboración propia.

Por otro lado, al realizar la prueba con la flor de Jamaica, la coloración fue bastante fuerte debido a la concentración de antocianinas en estas muestras, las muestras organizadas con el colorante rojo 40 (izquierda), muestra FJ50C (centro) y muestra FJ80C (derecha) se evidencia la transición del color entre las dos muestras obtenidas, las tonalidades rosadas y rojas tenues.

Finalizada la prueba sensorial, se logra evidenciar que la razón por la que se torna azul-violeta las muestras de los pastelillos es porque las antocianinas son estables en un medio ácido pero inestables en un medio neutro u alcalino, cuando se encuentran en un medio con un pH menor a 4, predomina el ión flavilio, en cambio, cuando se encuentran en un medio básico es posible a que sufra un ataque nucleofílico por el agua, al tener un pH superior a 5 las antocianinas toman tonalidades que van entre azules, verdes y amarillos. [23]

Otro de los factores que afectan la estabilidad del color de las antocianinas es la temperatura, si se exponen a una temperatura menor a 90° Celsius la degradación de color es mínima y a una temperatura mayor a 100° Celsius se degrada el color significativamente. [23]

En cambio, las antocianinas conservan sus propiedades en el kumis es porque manejan valores de pH entre 3,84 y 4,28. [34]

Al analizar la prueba de comportamiento de las antocianinas con los alimentos, en ninguna se presentó alteración en la textura ni en el olor de esta.

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los resultados obtenidos en la prueba.

Tabla 17.

Resumen prueba organoléptica.

Prueba	Parametro organoléptico	Flor carbonero	Flor de Jamaica
Pastelillos	Olor	Sin alteración	Sin alteración
	Color	Sin pigmentación	Pigmentación azul-violeta
	Textura	Sin alteración	Sin alteración
Kumis	Olor	Sin alteración	Sin alteración
	Color	Pigmentación rosada con partículas en suspensión	Pigmentación rosada - roja tenue
	Textura	Sin alteración	Sin alteración

Nota: La tabla muestra el resumen de las pruebas organolépticas realizadas y la percepción sensorial. Elaboración propia.

Colorimetría a través de imágenes hiperespectrales

Adicionalmente, la segunda prueba realizada fue una cromatografía por medio de captura de imágenes hiperespectrales, las cuales consisten en integrar imágenes no convencionales y espectroscopia con el fin de obtener información espacial y espectral de un objeto. La caracterización de imágenes multiespectrales y espectrales es usada con el fin de obtener información espectral relacionada con cada punto, razón por la cual, cada píxel tendrá asociada la misma información espacial. [35]

La metodología empleada consiste en que se tiene una fuente de iluminación, la cual posee un componente, el cual mide entre 400 nanómetros y 1000 nanómetros, rango del espectro visible que va desde el azul hasta el infrarrojo cercano, esta prueba fue realizada en la Universidad de América con el acompañamiento del docente Jorge Ramírez.

Se emplean viales de 1,5 mililitros como se aprecia en la figura 45, a los cuales se les deposita una muestra de 500 microlitros, debido a las tonalidades de las muestras a evaluar. Como este método es similar a una espectrofotometría, se tiene un blanco, que vendría siendo de agua destilada; y se emplea en cada uno de los viales 500 microlitros de la muestra del colorante sintético, puesto que se necesita entrar a comparar con el espectro de luz las muestras experimentales para verificar cual

por el método es la más similar al colorante azoico a reemplazar, se toman las mismas muestras FC50F, FC80C, FJ50C y finalmente FJ80C.

Figura 45.

Imagen de referencia de un vial de laboratorio.

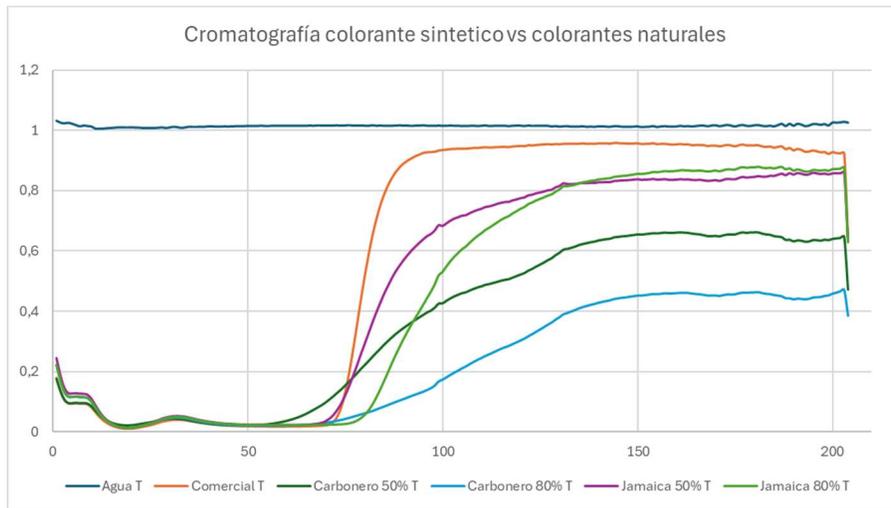


Nota: La figura muestra un ejemplo de cómo es un vial de laboratorio.

Primero se normaliza el blanco, por medio de este, se logra comparar todas las muestras respecto a la información óptica. La luz pasa a través de la muestra dependiendo de las propiedades cromáticas, su composición o incluso depende directamente del tipo de muestra que sea, si es homogénea o heterogénea y permite reconocer el color de cada muestra, en el blanco se tiene el 100% de transmisión de la luz y este porcentaje aumenta o disminuye dependiendo del tipo de muestra.

Figura 46.

Comparación de los rangos de color de las muestras naturales vs el colorante sintético.



Nota: La figura muestra la curva de comparación entre los rangos de color de las muestras naturales vs el colorante sintético.

Como se puede evidenciar en la figura 46, las muestras tienen el mismo comportamiento de no transmitir casi luz en el rango óptico del azul y empieza a transmitir la luz en el rango óptico del rojo.

Figura 47.

Muestras empleadas en la prueba de cromatografía comparando el colorante sintético frente a todas las muestras.



Nota: La figura presenta las muestras empleadas en la prueba de cromatografía comparando el colorante sintético frente a todas las muestras.

A partir de la figura 47 se puede analizar respecto a la muestra de colorante sintético (segundo vial en la parte superior) y las muestras orgánicas (organizadas de izquierda a derecha con FC50F, FC80C, FJ50C y FJ80C respectivamente), se logra evidenciar que la primera muestra del carbonero presenta una leve precipitación de sólidos suspendidos y la tonalidad del rojo es leve; la segunda muestra del carbonero presenta en todo el centro del vial una gran precipitación de sólidos suspendidos resultantes de la extracción, sin embargo, el tono rojo es un poco más fuerte, sin embargo, no alcanza a ser similar al sintético. Por otro lado, con las muestras de la flor de Jamaica, la primera tiene la tonalidad roja más cercana a la muestra del colorante sintético, a pesar de que presenta una leve precipitación de partículas suspendidas, la similitud en el color es significativa y finalizando con la segunda muestra de la flor de Jamaica, se logra evidenciar que la tonalidad roja ya es demasiado fuerte, pasando la muestra del sintético y al igual, presenta partículas en suspensión en la muestra.

De los resultados obtenidos con ambas muestras, la flor de Jamaica presenta mejores propiedades en el reemplazo del colorante sintético, no obstante, en las pruebas sensoriales la muestra óptima es la FJ80C incluso por su contenido de antocianinas, sin embargo, en la cromatografía, la muestra óptima fue la FJ50C por la homogeneidad de la muestra y el color tan cercano al sintético.

4. VIABILIDAD TÉCNICA Y DE COSTOS

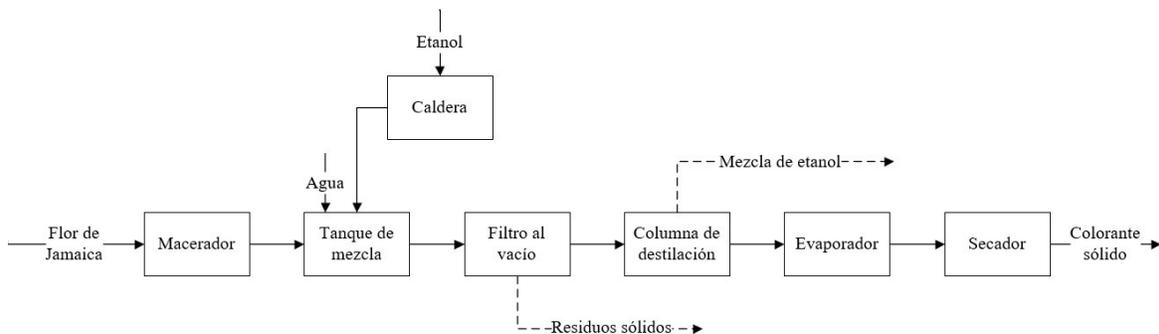
4.1. Proceso de producción propuesto para la obtención de pigmentos rojos

Para el proceso de producción del colorante natural a partir de la flor de Jamaica, se plantea una producción por lotes, en la cual se producirá una tonelada por lote, escalando el proceso de laboratorio a escala industrial con el fin de verificar su viabilidad como reemplazo efectivo al colorante rojo 40.

4.1.1. Diagrama de flujo de bloques

Figura 48.

Diagrama de flujo proceso de producción de colorante a partir de la flor de Jamaica.

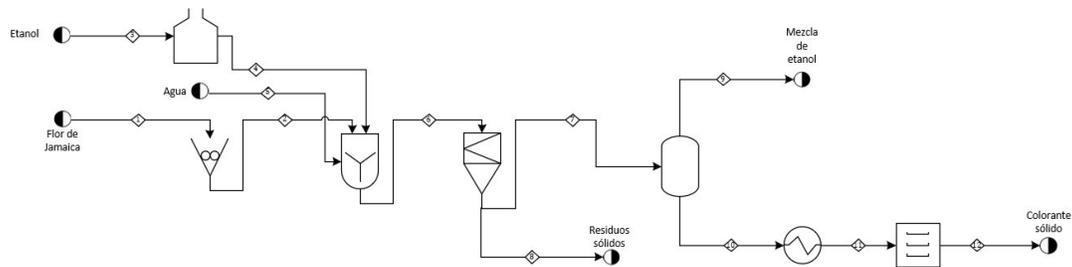


Nota: La figura muestra el diagrama de flujo de bloques para el proceso. Elaboración propia.

4.1.2. Diagrama PFD

Figura 49.

Diagrama PFD del proceso de producción de colorante a partir de flor de Jamaica.



Nota: La figura muestra el diagrama PFD para el proceso. Elaboración propia.

4.1.3. Equipos

La selección de los equipos se realizó con rigurosidad con el fin de escalar el proceso a nivel industrial, inicialmente se requiere un macerador para extractos profesional, una caldera para elevar la temperatura del solvente, un tanque mezclador industrial para realizar la extracción del color, un filtro culinario para separar los sólidos de los líquidos, una torre de destilación para retirar el etanol del proceso, un intercambiador de calor para retirar el agua restante y finalmente un secador para obtener el colorante natural en polvo.

4.1.4. Insumos y servicios

En cuanto a los insumos que se emplearan, se requiere comprar 100 kilogramos de flor de Jamaica, 800 litros de etanol y 200 litros de agua potable (como materia prima), adicionalmente se requieren servicios de agua y alcantarillado, energía y gas natural.

4.1.5. Balance de materia del proceso

Para el balance de materia del proceso se tuvo en cuenta el rendimiento del proceso tomando la masa de antocianinas obtenidas por la masa inicial de materia prima dividido en 100.

$$\frac{(\text{masa antocianinas} * \text{masa vegetal inicial})}{100}$$

Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 18.

Rendimiento del proceso.

Abreviación experimento	masa materia vegetal inicial (g)	masa antocianinas (g)	Rendimiento
FC50F	10	5,896E-03	5,896E-02
FC80F	10	4,736E-03	4,736E-02
FC95F	10	5,515E-03	5,515E-02
FC50C	10	3,370E-03	3,370E-02
FC80C	10	5,865E-03	5,865E-02
FC95C	10	2,632E-03	2,632E-02
RFC50F	10	2,795E-03	2,795E-02
RFC80F	10	1,259E-03	1,259E-02
RFC95F	10	7,247E-04	7,247E-03
RFC80C	10	2,938E-03	2,938E-02
RFC95C	10	7,787E-04	7,787E-03
FJ50F	10	4,559E-02	4,559E-01
FJ80F	10	2,075E-02	2,075E-01
FJ95F	10	1,431E-02	1,431E-01
FJ50C	10	4,625E-02	4,625E-01
FJ80C	10	5,762E-02	5,762E-01
FJ95C	10	1,749E-02	1,749E-01
RFJ50F	10	1,538E-02	1,538E-01
RFJ80F	10	1,016E-02	1,016E-01
RFJ95F	10	4,075E-03	4,075E-02
RFJ50C	10	2,227E-02	2,227E-01
RFJ80C	10	1,226E-02	1,226E-01
RFJ95C	10	6,759E-03	6,759E-02

Nota: La tabla muestra el rendimiento del proceso con todas las muestras. Elaboración propia.

De acuerdo con el rendimiento, la materia vegetal elegida es la FJ80C.

Se realizó el balance de materia para cada equipo con las proporciones empleadas en el laboratorio, al realizar la filtración se pierde el 0,5% en peso de la flor de Jamaica.

Tabla 19.*Balance de materia por equipos con proporciones de laboratorio.*

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura	25	25	25	50	25	44	30	25	78	50	98	25
presion	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
fracción de vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Flujo másico total	10	10	63,12	63,12	19,94	93,06	93,01	0,05	60,961	32,049	32,049	9,95
Etanol	0	0	80	80	0	80	80	0	76	4	4	0
Agua	0	0	0	0	20	20	20	0	1	19	19	0
Flor de jamaica	10	10	0	0	0	10	9,95	0,05	0	9,95	9,95	9,95
Colorante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,95

Nota: La tabla muestra el balance de materia por equipos del proceso con proporciones de laboratorio. Elaboración propia.

Para un lote de producción de una tonelada por lote de materia prima, se requieren 100 kilogramos de flor de Jamaica, 800 litros de etanol y 200 litros de agua. El balance se realiza en cada uno de los equipos del proceso, de la siguiente manera:

Tabla 20.*Balance de materia por equipos para una tonelada de producción del colorante.*

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura	25	25	25	50	25	44	30	25	78	50	98	25
presion	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
fracción de vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Flujo másico total	100	100	631,2	631,2	199,4	930,6	930,1	0,5	609,61	320,49	320,49	99,5
Etanol	0	0	800	800	0	800	800	0	760	40	40	0
Agua	0	0	0	0	200	200	200	0	10	190	190	0
Flor de jamaica	100	100	0	0	0	100	99,5	0,5	0	99,5	99,5	99,5
Colorante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,5

Nota: La tabla muestra el balance de materia por equipos del proceso con proporciones a escala industrial. Elaboración propia.

4.1.6. Cálculo de costos de producción

Para la determinar los costos de equipos, se realizó la búsqueda de estos con una capacidad de 1Tonelada/hora y se compilaron los datos en la siguiente tabla, teniendo en cuenta la capacidad, sus dimensiones, costo del equipo y el fabricante.

Tabla 21.*Costos de equipos para la producción de una tonelada.*

Equipo	Dimension	Capacidad	Costo	Marca
Macerador	0,5x0,5x1,25 m	125 L/h	\$ 8.616.796,92	La casa del chef
Caldera	3.25x1.80x2.00 m	1 Ton/h	\$ 19.332.500,00	Zozen boiler
Tanque mezclador	1,2x1,2x1,2 m	1 Ton/h	\$ 8.437.524,00	Joston Stainless
Filtro culinario	1,0x1,2x1,0 m	1 Ton/h	\$ 9.840.250,00	Wenzhou Suote Pharmaceutical And Chemical Engineering Co.
Torre de destilación	3,0x3,0x10,0 m	1 Ton/h	\$ 46.398.000,00	Ace Machinery
Intercambiador de calor	0,45x0,35x0,25 m	1 Ton/h	\$ 1.603.129,00	Wenzhou Suote Pharmaceutical And Chemical Engineering Co.
Secador	2,0x2,0x4,0 m	1 Ton/h	\$ 74.330.572,00	Xinxiang Chenwei Machinery Co.

Nota: La tabla muestra los costos de los equipos necesarios en el proceso. Elaboración propia.

Cálculos materia prima

Tabla 22.*Costos totales materia prima.*

Materia prima	Costo (por kilo o litro)	Costo total
Flor de jamaica	\$ 88.900,00	\$ 8.890.000,00
Etanol al 96%	\$ 30.000,00	\$ 24.000.000,00
Agua	\$ 25.019,00	\$ 5.003,80
		\$ 32.895.003,80

Nota: La tabla muestra los costos totales de la materia prima en el proceso. Elaboración propia.

El costo del agua es demasiado económico, puesto que el agua será proveída por el Acueducto de Bogotá, para industrias el cargo fijo del servicio tiene un valor de \$20.724 COP y el cargo por consumo de m³ es de \$4.295 COP, ambos valores sumados dan un costo total de \$25.019 COP, este valor se multiplica por los litros a emplear, los cuales son 200 litros y se divide en 1000 para dejarlo expresado en litros; dando un valor total de \$5.003 COP.

Adicionalmente se tienen en cuenta los costos energéticos y operacionales de la planta con los siguientes valores:

Tabla 23.

Costos energéticos del proyecto.

Servicio	Unidad de medida	Valor (\$)	
Energía	kWh	Diurno	\$ 566,28
		Nocturno	\$ 564,10
Gas	m ³	N/A	\$ 191,02
Agua	m ³	N/A	\$ 25.019,00
Arriendo bodega	mensual	N/A	\$ 17.000.000,00

Nota: La tabla muestra los costos energéticos requeridos en el proceso. Elaboración propia.

En cuanto a los costos operacionales se contempló para 10 operarios con un salario mínimo y con todas las prestaciones de ley, dando un valor de nómina de \$20'000.000.

La comparación del valor de venta de un kilo de colorante rojo 40 (Rojo Allura) de la empresa Novacolor S.A.S, tiene un costo de \$140.000 COP, de esta forma tomamos los 100 Kg obtenidos luego de que el colorante sale del secador con el fin de ver que costo tendría esa cantidad del colorante sintético. El cual tiene un costo de \$14'000.000 COP, lo que resulta bastante económico.

Tabla 24.

Costos totales del proyecto.

Inversión total del proyecto	\$ 238.453.775,72
Costo de una tonelada de colorante natural	\$ 32.895.003,80
Costo de una tonelada de colorante sintético	\$ 14.000.000,00
Costo de un kilo de colorante natural	\$ 238.453,78
Costo de un kilo de colorante sintético	\$ 140.000,00

Nota: La tabla muestra los costos totales del proyecto. Elaboración propia.

La inversión total del proyecto sería de \$238'453.775 COP teniendo en cuenta los costos de los equipos, la tonelada de materia prima, arriendo de la bodega y los costos de nómina. Analizando la viabilidad técnica del proceso se determinó que los costos de capital inicial e inversión de materias primas son altos y se encontró que en el mercado el peso mínimo de venta de otras empresas del colorante sintético es de 1 kilogramo, por razón se realizó el análisis para un kilogramo de colorante natural obteniendo un precio de venta al mercado de \$238.453 COP.

CONCLUSIONES

En cuanto a la selección de la materia prima óptima para reemplazar el colorante Rojo 40, el método experimental se centró en determinar la viabilidad entre dos opciones ricas en antocianinas. Dado el escaso conocimiento del carbonero rojo, careciendo de una tabla nutricional o referencias comparativas disponibles, la flor de Jamaica fue elegida como la matriz vegetal ideal para todo el proceso.

El método de extracción utilizado para obtener el colorante natural demostró ser efectivo, aunque requiere ajustes específicos para la extracción sólido-líquido mediante maceración en caliente. Se observó que temperaturas elevadas, especialmente en concentraciones del 50% y 80%, ofrecen el mejor rendimiento y eficiencia.

En la cuantificación de las antocianinas presentes en los colorantes, se obtuvieron concentraciones más altas de cianidina-3-glucósido: 5,89 mg y 5,86 mg en el carbonero rojo, y 46,24 mg y 57,62 mg en la flor de Jamaica. Además, los extractos fueron sometidos a pruebas de estabilidad que indicaron conservación de propiedades bajo refrigeración, protección de la luz y en entornos de pH ácido.

Las pruebas organolépticas revelaron limitaciones en la aplicabilidad de estos colorantes en la industria alimentaria, especialmente en productos ultra procesados con altas temperaturas, debido a que la estabilidad de las antocianinas se ve afectada a temperaturas mayores a 90° Celsius y en un pH ácido, puesto que es donde las antocianinas mantienen un color rojo intenso. No obstante, se destacó su idoneidad para la industria láctea, y se sugirió evaluar su aplicabilidad en otros productos dentro de esta misma industria e incluso en otras industrias como farmacéutica o cosmética.

Adicionalmente, las muestras obtenidas demostraron un alto potencial como colorantes, destacándose por sus beneficios para la salud humana y su capacidad para enriquecer el valor nutricional de los alimentos. Este tipo de colorantes no solo promueven la economía verde, sino que también contribuyen a mitigar el impacto ambiental asociado a productos derivados de petroquímicos.

Finalmente, en cuanto a la viabilidad técnica, el costo de producción del colorante de flor de Jamaica en materia prima es más alto que la misma cantidad producida del colorante sintético, sin embargo, es viable económicamente debido a que la sociedad y la industria genera un gran interés en productos más saludables y benéficos para la salud del consumidor, adicionalmente aporta un valor nutricional al producto en el cual se emplee.

RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros, se deben tener en cuenta las condiciones de cosecha y almacenamiento de la matriz vegetal a emplear puesto que pueden afectar directamente los resultados del colorante a obtener. Razón por la cual, se debe garantizar un proceso de selección óptimo de la misma, adicionalmente, se debe ajustar el tiempo de extracción, la temperatura y la concentración del solvente a emplear con el fin de garantizar el máximo aprovechamiento de la materia prima y sus propiedades.

Finalmente se debe buscar una forma de optimización del proceso al realizar la escala a nivel industrial puesto que se pierden productos de alto valor al tener costos tan elevados de producción.

REFERENCIAS

- [1] R. Dey, G. Linares, R. Munguía, and E. Chávez, “Construcción y Validación de un Instrumento para Evaluar el Consumo de Alimentos con Rojo Allura,” *Información tecnológica*, vol. 30, no. 3, pp. 219–226, jun. 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000300219.
- [2] R. Dey, “Consumo de alimentos con el colorante alimenticio rojo 40 y su remoción por enterobacterias del microbiota intestinal,” 2018.
- [3] D. Figueroa, A. Moreno, and A. Hormaza, “Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz,” 2014.
- [4] L. ROMAN, “¿El colorante Rojo 40 está ‘ligado directamente’ al cáncer y la depresión? Explicamos.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://larepublica.pe/verificador/2023/07/06/el-colorante-rojo-40-esta-ligado-directamente-al-cancer-y-la-depresion-explicamos-225840>
- [5] SERNAC, “¿Qué Son Los Aditivos Alimentarios? LEA LAS ETIQUETAS DE LOS ALIMENTOS.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.sernac.cl/portal/604/w3-article-1107.html>
- [6] Q. Zhang *et al.*, “The synthetic food dye, Red 40, causes DNA damage, causes colonic inflammation, and impacts the microbiome in mice,” *Toxicol Rep*, vol. 11, pp. 221–232, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.toxrep.2023.08.006.
- [7] A. T. Davis, “¿Hay aditivos colorantes peligrosos en los alimentos?” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.allenandallen.com/es/hay-aditivos-colorantes-no-seguros-en-los-alimentos/>
- [8] N. Washington, “Is there a link between red dye 40 and ADHD?” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/red-dye-40-adhd>
- [9] L. Saavedra and W. Símpalo, “ESTUDIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS A PARTIR DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L).” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1081/1646#:~:text=Las%20mejores%20condiciones%20de%20extracci%C3%B3n,y%20tiempo%20de%2045%20minutos>
- [10] Winsornewton, “Colourants: dyes vs pigments.” Accessed: May 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.winsornewton.com/row/articles/colours/spotlight-on-colourants-dyes-pigments/#:~:text=A%20colourant%20is%20a%20substance,in%20a%20medium%20or%20binder>
- [11] A. Towns, “Colorants: General survey,” *Physical Sciences Reviews*, vol. 4, no. 8, Jul. 2019, doi: 10.1515/psr-2019-0008.
- [12] M. Calvo Domper, “TRABAJO FIN DE GRADO COLORANTES ALIMENTARIOS,” UNIVERSIDAD COMPLUTENSE.

- [13] DATA BRIDGE MARKET RESEARCH, “Mercado mundial de colorantes alimentarios: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2028.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-food-color-market>
- [14] EXACTITUDE CONSULTANCY, “Mercado de colorantes alimentarios lacustres por tipo de color (rojo, amarillo, tartrazina y otros), forma (en polvo y líquido), aplicación (bebidas, productos de panadería, productos lácteos, postres, condimentos, alimentos para mascotas y otras aplicaciones). y Región, Tendencias globales y pronóstico de 2023 a 2030.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/33374/lake-food-colors-market/#segmentation-analysis>
- [15] P. Barciela, A. Perez-Vazquez, and M. A. Prieto, “Azo dyes in the food industry: Features, classification, toxicity, alternatives, and regulation,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 178, p. 113935, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.fct.2023.113935.
- [16] Aditivos-Alimentarios, “Aditivos alimentarios E-129 Rojo Allura AC.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.aditivos-alimentarios.com/2016/01/E129.html>
- [17] B. G. Hidalgo Olmedo, “Uso de colorantes alimentarios (artificiales y naturales) y su impacto en la salud: revisión de la literatura.” UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2022.
- [18] S. Y. Granados-Balbuena *et al.*, “Patented technologies in the extraction, preservation, and application of anthocyanins in food: A review,” *Applied Food Research*, vol. 4, no. 1, p. 100388, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.afres.2024.100388.
- [19] D. MARCANO, *Introducción a la Química de los Colorantes*, Segunda Edición 2018. 2018.
- [20] G. Mahecha Vega, A. Ovalle Escobar, D. Camelo Salamanca, A. Rozo Fernández, and D. Barrero Barrero, “Vegetación del territorio CAR,” 2012.
- [21] J. A. Guerrero Beltrán and S. Cid-Ortega, “Propiedades funcionales de la Jamaica (Hibiscus Sabdariffa L.) ,” *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2012.
- [22] F. Urbina Torres, “Proyecto de Desarrollo de la Cadena de Valor y Conglomerado Agrícola,” 2009.
- [23] A. E. LLAMUCA ARÉVALO, “EXTRACCIÓN DE COLORANTES NATURALES DE JAMAICA (Hibiscus Sabdariffa), MORA ANDINA (Rubus glaucus) y UVA (Vitis vinífera) PARA EL USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2018.
- [24] L. M. Zapata, “OBTENCIÓN DE EXTRACTO DE ANTOCIANINAS A PARTIR DE ARÁNDANOS PARA SER UTILIZADO COMO ANTIOXIDANTE Y COLORANTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA,” UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA, 2014.

- [25] A. C. Regino Ramírez and Rengifo Velandia. Erika Andrea, “Evaluación de los métodos de extracción de compuestos fenólicos (antocianinas) a partir del fruto del corozo (*Bactris Guineensis*),” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2021.
- [26] Q. Y. Zafra Rojas, “OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES DE UN RESIDUO DE ZRZAMORA (*Rubus fruticosus*), EMPLEANDO TERMO-ULTRASONIDO, PARA SU UTILIZACIÓN COMO ADITIVO EN YOGURT,” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, 2023.
- [27] 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, doi: 10.1093/jaoac/88.5.1269.
- [28] A. Cofré Martínez, “Determinación de Polifenoles Totales, Actividad Antioxidante y Antocianinas de Jugo de Murtilla (*Ugni molinae Turcz*) Obtenido por Condensación de Vapor,” 2015.
- [29] E. García Martínez, I. Fernández Segovia, and A. Fuentes López, “Determinación de polifenoles totales por el método de FolinCiocalteu.”
- [30] Comisión del codex alimentarius, “Disposiciones sobre aditivos alimentarios para colorantes en las categorías de alimentos 01.0 a 03.0 y sus subcategorías, incluidas las disposiciones adoptadas para los colorantes con la Nota 161 y los proyectos y anteproyectos de disposiciones ,” 2023
- [31] amerex, “LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DE LOS ALIMENTOS.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://amerexingredientes.com/blog/calidad-organoleptica-alimentos/>
- [32] W. V. Menéndez Govea and F. Torres A, “Obtención de colorante para su uso en yogurt a partir de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y del mortiño (*Vaccinium myrtillus L.*) ,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008, Accessed: Jul. 03, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/950/1/1802.pdf>
- [33] G. A. GARZÓN, “LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS: REVISIÓN,” Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 2008.
- [34] J. A. OSORIO, C. RAMÍREZ, C. F. NOVOA, and L. F. GUTIÉRREZ, “CONJUGATED LINOLEIC ACID, FATTY ACID PROFILE AND PROCESS PROPERTIES IN KUMIS - FERMENTED MILK CONSUMED IN COLOMBIA. ,” *Vitae*, 18, 2011.
- [35] J. D. Ardila Useda, “Diseño de una metodología experimental para la captura de imágenes hiperespectrales y su uso en la determinación de propiedades ópticas en muestras de la industria agrícola y energética.,” Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Bogotá , 2023.