



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

TESIS

**“ESTUDIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE
ANTOCIANINAS A PARTIR DE FRAMBUESA (*Rubus
idaeus L.*)”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autora:

Bach. Saavedra Alarcon Leslie Shiomara
(<https://orcid.org/0009-0008-6377-5264>)

Asesor

Ing. Símpalo López Walter Bernardo
(<https://orcid.org/01-9930-3076>)

Línea de investigación:

Tecnología e innovación en desarrollo de la construcción y la industria en un contexto de
sostenibilidad

Sublínea de Investigación:

Innovación y tecnificación en ciencia de los materiales, diseño e infraestructura

Pimentel – Perú

2024

APROBACIÓN DEL JURADO:

**“ESTUDIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS A PARTIR DE
FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.)”**

Aprobación del Jurado

Mg. AURORA VIGO EDWARD FLORENCIO

Presidente de Jurado de Tesis

Ing. SÍMPALO LÓPEZ WALTER BERNARDO

Secretario de Jurado

MSc. SOLANO CORNEJO MIGUEL ÁNGEL

Vocal de Jurado



Universidad
Señor de Sipán


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy **egresada** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autora del trabajo titulado:

“ESTUDIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS A PARTIR DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.)”

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

<p>(Apellidos y Nombres) SAAVEDRA ALARCON LESLIE SHIOMARA</p>	<p>DNI: 73056715</p>	<p>Firma </p>
---	--------------------------	--

Pimentel, 01 de febrero de 2024.

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor, darme la fuerza para seguir adelante y guiarme siempre por el buen camino.

Con cariño a mis padres Cesar y Lucy por su amor incondicional, consejos, esfuerzo y confianza durante todo mi trayecto estudiantil y de mi vida además de ser mi motivo de superación. Los Amo.

A mi hermano Junior, mi ángel en el cielo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darme la vida, ser mi guía y nunca abandonarme en los momentos difíciles.

Agradezco a mis padres que con sacrificio, dedicación y esfuerzo me ayudaron a culminar mis estudios universitarios a pesar de las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi familia por su amor, consejos, motivación y apoyo brindado durante toda mi vida.

A mis docentes por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera universitaria.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
Resumen.....	11
<i>Abstract</i>	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Realidad Problemática.....	15
1.2. Antecedentes de estudio.....	18
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	21
1.3.1. Frutas del bosque o frutas rojas.....	21
1.3.2. Frambuesa (<i>Rubus idaeus L.</i>).....	24
1.3.3. Antocianinas.....	27
1.3.3.1. Estructura química de antocianinas.....	30
1.3.3.2. Efecto del pH.....	31
1.3.3.3. Efecto de temperatura.....	34
1.3.3.4. Efecto del oxígeno y ácido ascórbico.....	37
1.3.4. Proceso de extracción de antocianinas.....	40
1.4. Formulación del problema.....	44
1.5. Justificación e importancia del estudio.....	44
1.6. Hipótesis.....	48
1.7. Objetivos.....	48
1.7.1. Objetivo General.....	48
1.7.2. Objetivos Específicos.....	48

II.	MATERIAL Y MÉTODO.....	49
2.1.	Tipo y diseño de investigación	49
2.1.1.	Tipo.....	49
2.1.2.	Diseño de investigación.....	50
2.1.3.	Método de la Investigación.....	50
2.2.	Población y muestra.....	51
2.2.1.	Población	51
2.2.2.	Muestra	51
2.3.	Variables, Operacionalización	52
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	58
2.4.1	Materiales, equipos y reactivos	58
2.4.2	Caracterización fisicoquímica de frambuesa.	61
2.4.3.	Proceso de extracción de antocianinas.	64
2.4.4.	Cuantificación de antocianinas totales.	66
2.4.5.	Índice de color.	66
2.4.6.	Validación.....	67
2.5.	Criterios éticos	67
III.	RESULTADOS	69
3.1.	Resultados.....	69
3.2.	Discusión de resultados.....	90
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
4.1.	Conclusiones	93
4.2.	Recomendaciones	93
	REFERENCIAS	94
	ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables independientes y dependientes.....	53
Tabla 2 Operacionalización de variables independientes y dependientes	54
Tabla 3 Factores de la investigación.....	57
Tabla 4 Respuestas de los experimentos	57
Tabla 5 Experimentos de la investigación.....	58
Tabla 6 Composición fisicoquímica de frambuesa.....	69
Tabla 7 Resultados de las variables dependientes según matriz experimental.....	70
Tabla 8 Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento de antocianinas....	71
Tabla 9 Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento parámetro de color luminosidad	77
Tabla 10 Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento parámetro de color cromacidad.....	84
Tabla 11 Medidas de absorbancias	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Muestra los frutos de frambuesa.	27
Figura 2 Estructura química del catión flavilio.	31
Figura 3 Muestra la transformaciones estructurales de antocianinas en relación al pH.....	34
Figura 4 Muestra la matriz de experimentos	56
Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de extracción de antocianinas.	65
Figura 6 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente etanol.....	73
Figura 7 Gráfico de interacción para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente etanol	73
Figura 8 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente metanol.....	75
Figura 9 Gráfico de interacción para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente metanol.	76
Figura 10 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente rendimiento de antocianina.....	77
Figura 11 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - Luminosidad teniendo como solvente etanol.....	79
Figura 12 Gráfico de interacción para la variable dependiente Parámetro de color - luminosidad teniendo como solvente etanol.....	80
Figura 13 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - Luminosidad teniendo como solvente metanol.....	81
Figura 14 Gráfico de interacción para la variable dependiente Parámetro de color - luminosidad teniendo como solvente metanol.....	82
Figura 15 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente parámetro de color Luminosidad.....	83
Figura 16 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - cromacidad teniendo como solvente etanol.	85
Figura 17 Gráfico de interacción para la variable dependiente Parámetro de color - cromacidad teniendo como solvente etanol.....	86
Figura 18 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - cromacidad teniendo como solvente metanol.....	87

Figura 19 Gráfico de interacción para la variable dependiente Parámetro de color - cromacidad teniendo como solvente metanol.....	88
Figura 20 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente parámetro de color cromacidad	89

Resumen

La frambuesa tiene una elevada concentración de antocianinas, convirtiéndose en una materia prima apropiada para la extracción de colorante natural. Así el objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar la extracción de antocianinas a partir de frambuesa teniendo como variables dependientes la temperatura, tiempo y tipo solventes. Se empleó un proceso de extracción sólido líquido en un sistema de destilación a reflujo. El contenido de antocianinas se determinó por espectrofotometría empleando la técnica de pH diferencial. Las mejores condiciones de extracción que permiten obtener mayor concentración de antocianinas es solvente metanol, temperatura de 70°C y tiempo de 45 minutos.

Palabras claves: Frambuesa, antocianina, pH diferencial.

Abstract

The raspberry has a high concentration of anthocyanins, becoming an appropriate raw material for the extraction of natural dye. Thus the objective of this research project was to evaluate the extraction of anthocyanins from raspberry having as dependent variables the temperature, time and solvent type. A liquid solid extraction process was used in a reflux distillation system. The content of anthocyanins was determined by spectrophotometry using the differential pH technique. The best extraction conditions that allow obtaining a higher concentration of anthocyanins is solvent methanol, temperature of 70 ° C and time of 45 minutes.

Key words: Raspberry, anthocyanin, differential pH.

I. INTRODUCCIÓN

Al ingerir alimentos, el color es el primer atributo que los consumidores notan sensorialmente. Esta observación inicial es fundamental porque el color a menudo establece las primeras impresiones sobre la calidad y frescura del producto. Debido a esta influencia inicial, y dado que los consumidores frecuentemente asocian el color con las características de sabor y aroma del alimento, cumplir con sus expectativas visuales se convierte en una prioridad para los productores [1]. En respuesta a estas expectativas, la industria alimentaria está dedicando esfuerzos continuos para descubrir y aplicar nuevas metodologías que permitan mejorar y uniformizar el color de los alimentos procesados. La estandarización del color no solo ayuda a mantener la consistencia visual de los productos, sino que también mejora la experiencia sensorial general del consumidor, fortaleciendo la confianza en la marca [1]. La necesidad de estas innovaciones surge debido a que, durante su producción, los alimentos procesados pueden sufrir cambios en su apariencia. Factores como variaciones en la temperatura, ajustes en el pH, exposición prolongada a la luz y extensos períodos de almacenamiento son comunes en la producción alimentaria y pueden degradar los pigmentos naturales o añadidos en los alimentos. Estos cambios pueden resultar en una disminución de la intensidad del color o en alteraciones no deseadas, lo que afecta negativamente la percepción del producto por parte del consumidor. [1]

Con la restricción en el uso de numerosos colorantes artificiales, ha emergido una tendencia creciente hacia la adopción de colorantes naturales. Esta inclinación ha llevado a un aumento en su uso e importancia en la industria alimentaria en los últimos años. La eliminación de los colorantes artificiales se debe a preocupaciones sobre su seguridad y efectos en la salud, impulsando así la búsqueda de alternativas más seguras y naturales. [2]. Estos colorantes naturales no solo proporcionan al producto una apariencia más auténtica, lo que resulta en una mayor aceptación por parte de los consumidores, sino que también ofrecen beneficios adicionales. Su uso ha sido extenso a lo largo de los años, y no se han encontrado evidencias que sugieran que causen daños a la salud. Esta característica los hace especialmente atractivos en un mercado cada vez más orientado hacia el bienestar y la salud de los consumidores, reforzando la percepción de productos más seguros y saludables. [3]

En este escenario, las antocianinas, identificadas como el grupo más grande de pigmentos solubles en agua dentro del reino vegetal, han capturado la atención de investigadores y fabricantes de alimentos por su habilidad para impartir color de manera natural. Esta característica se ha vuelto especialmente valiosa en un mercado que favorece los ingredientes naturales sobre los sintéticos. [4], Estos compuestos están ampliamente distribuidos en el mundo natural, encontrándose en una variedad de partes de plantas como flores, frutas, vegetales, tallos y raíces. La presencia generalizada de las antocianinas en diferentes partes de las plantas subraya su potencial como fuente sostenible y versátil de colorantes, permitiendo una amplia gama de aplicaciones en la coloración de alimentos. [5]

La relevancia y efectividad de las antocianinas como colorantes naturales radican en su capacidad para ofrecer un intenso color rojo en alimentos con un entorno ácido, como los refrescos, mermeladas y dulces. Este aspecto es crucial porque el pH del alimento puede afectar significativamente la estabilidad y el tono del colorante. Además, las antocianinas son consideradas una alternativa vegetal viable al carmín de cochinilla, un colorante derivado de insectos, para productos que tienen un pH bajo. Esta sustitución no solo responde a la demanda de ingredientes de origen no animal y más éticos, sino que también ofrece una opción segura y natural para colorear alimentos manteniendo su atractivo visual sin comprometer la calidad o la seguridad del producto. [6]

No obstante, el uso de las antocianinas como colorantes naturales también conlleva ciertas desventajas, principalmente relacionadas con su estabilidad. Estos pigmentos son susceptibles a deteriorarse durante varios procesos: la extracción de las plantas, el procesamiento de los alimentos y el almacenamiento de los productos finales. Este deterioro es causado por varios factores ambientales y de manejo. Las variaciones de pH, por ejemplo, pueden alterar significativamente el matiz de las antocianinas, mientras que las fluctuaciones de temperatura y la presencia de oxígeno pueden acelerar su degradación. Además, las enzimas presentes en los alimentos pueden interactuar con estos pigmentos, alterando su estructura y color. La exposición a la luz también juega un papel crucial, ya que puede inducir la fotodegradación de las antocianinas. Estos desafíos destacan la necesidad de manejar cuidadosamente estos colorantes durante todo el proceso de producción y almacenamiento para preservar sus cualidades. [7] [3]

Por consiguiente, resulta crucial desarrollar y aplicar métodos de extracción específicos para los pigmentos de antocianinas que minimicen las alteraciones en sus propiedades. Establecer estos criterios es vital para asegurar que las cualidades deseables del colorante, como su color y estabilidad, se mantengan intactas desde la extracción hasta su uso final en productos alimenticios. Esto implica optimizar las condiciones de extracción, como el control de la temperatura, el pH y la exposición al oxígeno, para proteger las antocianinas de los factores que provocan su degradación y garantizar así su eficacia como colorantes naturales en la industria alimentaria. [7]

La frambuesa (*Rubus idaeus L.*), un fruto de la familia de las rosáceas, es notable por su vibrante color rojo, su sabor dulce y su característica acidez. Este fruto se distingue no solo por su atractivo estético y gustativo sino también por su riqueza nutricional. Es una fuente abundante de vitaminas como el ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina, vitamina B6 y vitamina A. Además, contiene minerales esenciales como potasio, calcio, magnesio, fósforo y hierro. [8] En términos de su contenido de compuestos bioactivos, la frambuesa es especialmente rica en compuestos fenólicos, incluyendo un grupo importante de flavonoides: las antocianinas. Las antocianinas más predominantes en la frambuesa son la cianidina-3-glucósido, cianidina-3-glucosilrutinosido y cianidina-3-rutinosido, que contribuyen significativamente a su coloración y propiedades antioxidantes. [9] Sin embargo, la frambuesa presenta desafíos significativos en cuanto a su conservación debido a su alta perecibilidad. Esto se debe a su elevada tasa de respiración y a su gran superficie de exposición, que no solo facilitan la deshidratación rápida del fruto sino también incrementan su vulnerabilidad al ataque de microorganismos, como los hongos. Estos factores hacen esencial un manejo cuidadoso y condiciones de almacenamiento óptimas para mantener su calidad y prolongar su vida útil. [10]; [11]

1.1. Realidad Problemática

Actualmente, los colorantes sintéticos representan aproximadamente el 80% de los utilizados en las industrias de alimentación, cosmética, farmacéutica y textil. La preferencia por estos colorantes en diversas industrias se debe principalmente a su costo relativamente bajo. Estos colorantes ofrecen una ventaja económica significativa sobre sus contrapartes naturales, facilitando así su adopción generalizada en la producción a gran escala donde se

busca reducir los costos de fabricación. Además, su popularidad también se sustenta en la consistencia y variedad de tonos que pueden proporcionar, lo que los hace especialmente atractivos para aplicaciones donde se requiere precisión en la coloración y estabilidad del color bajo diversas condiciones de uso y almacenamiento.

Aunque los alimentos en su estado natural poseen colores inherentes, el ideal de mantener estos colores durante el procesamiento industrial rara vez se cumple. Durante la transformación industrial, los alimentos a menudo experimentan cambios en su coloración debido a factores como la exposición al calor, el contacto con el aire y las interacciones químicas, lo que puede alterar su apariencia natural. Los consumidores, por su parte, suelen preferir que ciertos alimentos mantengan un color uniforme en todos los lotes de producción, buscando una consistencia que transmite calidad y fiabilidad del producto. Esta expectativa puede ser difícil de satisfacer solo con los colores naturales de los alimentos, debido a las variaciones inherentes en las materias primas de un lote a otro. Por ello, para lograr esta consistencia de coloración, las industrias frecuentemente recurren a modificaciones artificiales, como la adición de colorantes sintéticos. Estos permiten estandarizar el aspecto del producto final, garantizando que cada unidad se vea exactamente igual, independientemente de las variaciones naturales en los ingredientes. [12]

La adición de colorantes a los alimentos se realiza con diversos objetivos, cada uno centrado en mejorar la apariencia y aceptación del producto por parte de los consumidores. Uno de los propósitos principales es realzar el color existente de los alimentos, intensificando su apariencia para hacerlos visualmente más atractivos. Esta práctica es común en productos cuyo color natural puede ser menos vibrante de lo que los consumidores esperan. Otro objetivo es asegurar la uniformidad del color a través de diferentes lotes de producción. Los consumidores a menudo asocian una apariencia consistente con la calidad y la confiabilidad del producto, por lo que la uniformidad en el color es crucial en la percepción de marca. Además, los colorantes se utilizan para restaurar la apariencia original de los alimentos que han perdido su coloración natural debido a los procesos de manufactura, como la cocción o el secado. Esto ayuda a que el producto final se parezca más al alimento fresco y natural, cumpliendo con las expectativas visuales del consumidor. Finalmente, se añade color a alimentos que naturalmente carecen de color visible o que son visualmente poco atractivos, como el azúcar y ciertas bebidas. Esta práctica no solo mejora la apariencia

estética, sino que también puede influir en la percepción del sabor y la calidad general del producto. [1]

En los últimos años, tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos, se han implementado restricciones en el uso de colorantes artificiales debido a preocupaciones sobre sus posibles efectos adversos para la salud. Estos efectos incluyen reacciones alérgicas y otras preocupaciones de salud que han llevado a una reevaluación de la seguridad de ciertos aditivos sintéticos. [13] Como resultado de estas restricciones, ha surgido un creciente interés en el desarrollo y la utilización de colorantes naturales. Estos colorantes, derivados de fuentes como plantas, minerales y otros organismos biológicos, son vistos como alternativas más seguras y saludables. La tendencia hacia lo natural y orgánico en la alimentación ha reforzado este interés, impulsando a investigadores y empresas a explorar y expandir el uso de colorantes naturales que no solo son seguros sino que también ofrecen beneficios adicionales, como propiedades antioxidantes y terapéuticas. Esta transición busca satisfacer la demanda de los consumidores por productos más limpios y con etiquetas más comprensibles, donde los ingredientes son fácilmente reconocibles y preferiblemente derivados de fuentes naturales. [14]; [15]

Con la prohibición de varios colorantes artificiales, ha emergido una tendencia clara hacia la sustitución de estos por colorantes naturales, lo que ha incrementado notablemente su consumo e importancia en años recientes. Esta transición se debe en parte a la preferencia de los consumidores por productos que ofrezcan una apariencia más natural, lo que incrementa su atractivo en el mercado. [2] Además, los colorantes naturales, que se han utilizado durante muchos años, no solo aportan visualmente al producto, sino que también ofrecen un perfil de seguridad alentador, ya que no se les conoce por causar daños a la salud. Esto contrasta con algunos colorantes sintéticos que han sido objeto de preocupaciones sanitarias. Así, los colorantes naturales no solo mejoran la aceptación del producto por parte de los consumidores debido a su origen y apariencia natural, sino que también proporcionan una alternativa más segura en términos de impacto en la salud humana. [3]

Los colorantes constituyen una categoría de aditivos alimentarios cuya función principal es proporcionar, intensificar o uniformar el color de los alimentos, haciéndolos visualmente más atractivos para los consumidores. Entre los pigmentos naturales que

generan interés en la industria alimentaria, las antocianinas ocupan un lugar destacado, y la frambuesa (*Rubus idaeus L.*) es reconocida por su alto contenido de estos compuestos.[12]. Aunque los colorantes naturales como las antocianinas son altamente valorados por sus beneficios y su apariencia atractiva, el proceso tradicional para obtenerlos es generalmente costoso y de baja productividad, lo que limita su viabilidad económica para uso a gran escala en la industria. Esto se debe a los retos asociados con la extracción eficiente y la estabilidad de estos pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento. Por otro lado, los colorantes sintéticos, aunque menos costosos y con mayor facilidad de producción, carecen de las ventajas que ofrecen los colorantes naturales. Estos incluyen no solo el aspecto de "naturalidad" que prefieren muchos consumidores hoy en día, sino también posibles beneficios para la salud asociados con los antioxidantes naturales presentes en pigmentos como las antocianinas. A pesar de sus ventajas, la dificultad para extraer y estabilizar los colorantes naturales sigue siendo un desafío importante para su adopción más amplia en la industria.

1.2. Antecedentes de estudio

Según Safranski & Rodriguez [16], llevaron a cabo una investigación sobre la extracción y estabilidad de antocianinas obtenidas de repollo púrpura (*Brassica oleracea*), comparando los resultados con un colorante sintético rojo a través de evaluaciones del color instrumental. Descubrieron que las condiciones óptimas para la extracción de estas antocianinas incluían el uso de un 25% de alcohol y un pH ajustado a 4,0 y 6,0, condiciones bajo las cuales se lograba una coloración roja más intensa. Para determinar la estabilidad de estos pigmentos durante el almacenamiento, utilizaron solventes de agua y alcohol al 25%. Realizaron mediciones colorimétricas del parámetro croma (C^*) en comparación con un patrón, llevando a cabo estas lecturas cada siete días a lo largo de cuatro semanas. Estas pruebas se efectuaron bajo diferentes condiciones ambientales, incluyendo la exposición a la luz, la oscuridad, y la presencia o ausencia de oxígeno. Los resultados mostraron que los extractos realizados con un 25% de alcohol y un pH de 6,0, almacenados en condiciones de oscuridad y con presencia de oxígeno, exhibieron la mejor saturación de color y mantuvieron su estabilidad por hasta 21 días. Así, el estudio concluyó que el repollo púrpura es una fuente viable y efectiva de colorante rojo natural para su uso en medios ácidos, ofreciendo una alternativa natural a los colorantes sintéticos.

Andreotti [17] llevó a cabo un estudio detallado sobre la extracción, estabilidad y cuantificación de antocianinas en frutas típicas brasileñas, con un enfoque en su potencial aplicación industrial como colorantes naturales. Se seleccionaron tres frutas congeladas para el estudio: jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), morera negra (*Morus nigra*) y zarzamora (*Rubus* sp), con el objetivo de maximizar la extracción de antocianinas y obtener extractos que mantuvieran su estabilidad durante más tiempo. El estudio evaluó varios factores que podrían influir en la eficiencia de la extracción y la estabilidad de las antocianinas, como el tipo de solvente utilizado, la incorporación de conservantes en el solvente acuoso, las temperaturas de extracción y almacenamiento, el tiempo de almacenamiento y, específicamente para la jabuticaba, el efecto del uso de la fruta entera en la extracción. Se encontró que el etanol al 94% v/v fue el solvente más efectivo en términos de capacidad de extracción y estabilidad de las antocianinas. Además, la combinación de conservantes Nipagin 0,01% m/v y Nipazol 0,05% m/v proporcionó los mejores resultados en la preservación de las antocianinas y prevención de la proliferación fúngica. En condiciones óptimas, las concentraciones de antocianinas en las frutas estudiadas fueron las siguientes: casi indetectables en la cáscara de jabuticaba, 153 ± 3 mg/100 g en la zarzamora y 83 ± 2 mg/100 g en la morera negra. Adicionalmente, se realizaron comparaciones entre diversos métodos de cuantificación de antocianinas, incluyendo métodos simplificados adecuados para aplicaciones industriales rutinarias. Las mediciones de absorbancia de los extractos a un pH de 1,0 en la longitud de onda de máxima absorción de las antocianinas se mostraron efectivas para determinar el contenido total de antocianinas, eliminando la necesidad de utilizar estándares comerciales. Este hallazgo es particularmente útil para simplificar y abaratar los procesos de control de calidad en la industria.

Según Jakobek, Seruga, & Medvidovic [18] realizaron un estudio exhaustivo sobre el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante en varios jugos de frutas rojas, evaluando una amplia gama que incluía grosella negra, frambuesa roja, mora, guinda, cereza dulce, jugo de fresa, chokeberry (arándano negro) y saúco. Para analizar estas características, emplearon técnicas como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), el método de pH diferencial y el ensayo antioxidante DPPH. En sus hallazgos, destacaron que las antocianinas constituían el grupo predominante de compuestos fenólicos en algunos de los jugos, representando el 66% en el jugo de saúco y el 56% en el jugo de grosella negra. En

otros jugos, como el de zarzamora y chokeberry, las antocianinas conformaban una proporción considerable del contenido total de polifenoles, con un 40% y un 33%, respectivamente. La concentración de antocianinas determinada mediante HPLC mostró una amplia variación, desde los 202 mg/L en el jugo de fresa hasta los 6287 mg/L en el jugo de saúco. Las antocianinas identificadas en estos jugos derivaban principalmente de cianidina, delphinidina, pelargonidina y peonidina. Cada tipo de fruta exhibía un perfil distinto de estas subclases: por ejemplo, la chokeberry, el saúco, la zarzamora y la guinda contenían principalmente derivados de cianidina; la grosella negra tenía delphinidina y cianidina; y la fresa presentaba predominantemente pelargonidina. Respecto a la actividad antioxidante, esta varió considerablemente entre los diferentes jugos, desde 4 $\mu\text{mol TE/ml}$ en la cereza dulce hasta 72 $\mu\text{mol TE/ml}$ en el chokeberry. Los resultados del estudio resaltaron que los jugos de frutas rojas son una fuente significativa de fitoquímicos bioactivos, siendo los jugos de chokeberry, saúco y grosella negra particularmente ricos en antocianinas y con una alta actividad antioxidante, lo que los convierte en candidatos ideales para ser utilizados como materias primas en la producción de alimentos funcionales que promueven la salud.

Constant [19] llevó a cabo una investigación profunda sobre las antocianinas del acaí (*Euterpe oleracea*), evaluando su potencial como fuente de estos pigmentos colorantes y estableciendo las condiciones óptimas para su extracción. También se caracterizó la estabilidad del extracto, su contenido y composición, y se exploraron sus aplicaciones en diferentes sistemas alimentarios. El estudio confirmó que el acaí es una fuente significativa de antocianinas, con un contenido cuantificado de aproximadamente 100 mg por 100 g de fruta fresca, o 500 mg por 100 g de pulpa, demostrando su potencial como material colorante en la industria alimentaria. Para determinar las mejores condiciones de extracción, Constant evaluó diferentes variables como el tipo de solvente (etanol o agua), el pH del medio (2 o 3,5) y el tipo de ácido utilizado (ácido clorhídrico, ácido cítrico o ácido tartárico). Se encontró que el etanol al 70% (v/v) acidificado con HCl a pH 2 era el sistema más eficiente para extraer antocianinas del acaí, maximizando la cantidad de pigmentos extraídos. Además, se investigó el efecto de la adición de dióxido de azufre (SO_2) en diferentes concentraciones en los solventes de agua o etanol al 70% (v/v). Los resultados mostraron que el agua con más de 4000 ppm de SO_2 y el etanol al 70% con 1000 ppm de SO_2 lograron el mejor rendimiento en términos de contenido de pigmento extraído. La temperatura también jugó un papel crucial en la extracción de las antocianinas del acaí. La extracción fue

lenta bajo refrigeración, pero a temperatura ambiente (31 ± 1 °C), la extracción se completó en 48 horas, en ausencia de luz. Se observó que elevar la temperatura a 60 °C podía acelerar el proceso de extracción, aumentando el rendimiento con mínima degradación del pigmento. Este estudio aporta información valiosa sobre las prácticas óptimas de extracción y aplicaciones de las antocianinas del acaí, sugiriendo su viabilidad como colorante natural en la industria alimentaria.

Bobbio, Druzian, Abrao, Bobbio, & Fadelli [20] llevaron a cabo un estudio detallado sobre la identificación y cuantificación de antocianinas en el fruto del acaí (*Euterpe oleracea*). Este trabajo se centró en el análisis de extractos acuosos, congelados y liofilizados de los frutos de acaí, de los cuales se extrajeron las antocianinas. Posteriormente, estas antocianinas fueron purificadas y divididas en dos principales fracciones para su análisis más detallado. Para identificar las estructuras químicas de las antocianinas presentes, el equipo utilizó una combinación de métodos químicos, espectroscópicos y de cromatografía líquida de alta eficacia (CLAE). A través de estos métodos avanzados, lograron identificar las antocianinas predominantes en el fruto como cianidina-3-arabinósido y cianidina-3-arabinosil-arabinósido. El contenido total de antocianinas determinado en el fruto del acaí fue de 263 mg por cada 100 g de cáscara. Este hallazgo subraya la riqueza del acaí en antocianinas, destacándolo como una fuente potencialmente valiosa de estos pigmentos naturales, conocidos por sus propiedades antioxidantes y beneficios para la salud. Este estudio contribuye al conocimiento científico necesario para futuras aplicaciones de las antocianinas del acaí en la industria alimentaria y nutracéutica.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Frutas del bosque o frutas rojas.

El término "frutas rojas" o "berry fruits" agrupa a varias frutas como la fresa, el arándano, la morera y la frambuesa. Estas frutas son conocidas por sus requerimientos específicos de cultivo, especialmente en lo que respecta a las condiciones de frío. Por ejemplo, la frambuesa necesita acumular al menos 600 horas en temperaturas inferiores a 7 °C para desarrollarse adecuadamente, lo que se conoce como "horas de frío". Este es un requisito crucial para la floración y fructificación exitosas de estos cultivos. Además del frío,

el tipo de suelo es un factor determinante en el éxito del cultivo de frutas rojas. El suelo ideal para estas frutas debe tener buenas características de drenaje para evitar el encharcamiento, una adecuada capacidad de retención de agua para mantener la humedad necesaria sin saturarse, y un contenido orgánico rico que nutra la planta. Por lo general, los suelos ligeramente ácidos, con un pH que oscila entre 6,0 y 7,0, son los más recomendables para el cultivo de la frambuesa. Estos requisitos de suelo aseguran un entorno propicio para el crecimiento y la salud de las plantas, maximizando su potencial de producción. [21]

Las frutas rojas, ampliamente reconocidas por su alto poder antioxidante, deben esta cualidad a la presencia de compuestos fenólicos en abundancia. En Perú, el interés en el cultivo de estas frutas está en aumento entre los productores, comerciantes y consumidores. Este creciente interés se debe en parte a la mayor difusión de información sobre sus beneficios nutricionales y funcionales, que incluyen no solo antioxidantes, sino también vitaminas, minerales y fibras, contribuyendo a la promoción de la salud y prevención de enfermedades. Esta tendencia se alinea con un movimiento global hacia una alimentación más saludable, donde se valora el consumo de alimentos naturales con propiedades que favorecen el bienestar general. En Perú, las frutas rojas están siendo vistas no solo como deliciosas y versátiles en la cocina, sino también como una opción potencial para mejorar la dieta habitual, respaldando así un estilo de vida saludable. [21]

Las frutas rojas, por su naturaleza, son extremadamente sensibles y perecen rápidamente, en gran parte debido a su alta tasa respiratoria. Esta característica las hace particularmente vulnerables a la degradación post-cosecha, afectando su calidad y vida útil. Además, sus características sensoriales, como el sabor, el aroma y la textura, están profundamente influenciadas por las condiciones bajo las cuales son almacenadas y transportadas. Una de las estrategias más efectivas para preservar la calidad de las frutas rojas después de la cosecha es el enfriamiento inmediato. Este proceso es crucial porque reduce significativamente la tasa de respiración y la actividad enzimática en las frutas, dos de los principales factores que contribuyen a su deterioro. Al disminuir la respiración, se reduce el metabolismo de la fruta, lo que retarda el proceso de maduración y descomposición. Simultáneamente, la ralentización de la actividad enzimática ayuda a mantener la integridad estructural y funcional de los componentes clave de la fruta, como los pigmentos y los compuestos volátiles que definen su sabor y aroma. Así, el enfriamiento

no solo extiende la vida útil de estas frutas sino que también preserva sus características deseables, lo que es esencial para su aceptación en el mercado.

Una de las características más distintivas de las frutas rojas es su llamativo color, que varía desde tonos rojos hasta azules. Este vibrante color es un factor crucial para los consumidores al momento de seleccionar estos productos, ya que a menudo se asocia con frescura y calidad. El responsable de esta amplia gama de colores en las frutas rojas es un grupo de pigmentos naturales conocidos como antocianinas. Las antocianinas son compuestos solubles en agua que se encuentran en altas concentraciones en los tejidos vegetales de estas frutas. Estos pigmentos no solo contribuyen al atractivo visual de las frutas, sino que también juegan un papel importante en la protección de las plantas contra diversas formas de estrés ambiental, como la radiación ultravioleta y las bajas temperaturas. En la alimentación humana, las antocianinas son valoradas no solo por sus propiedades colorantes sino también por sus beneficios para la salud, incluyendo su actividad antioxidante que puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades crónicas. [22]

El sabor de las frutas, una combinación compleja y multifacética que incluye tanto el gusto como el aroma, es fundamentalmente influido por sus componentes químicos. En las frutas rojas, dos factores clave que determinan su perfil de sabor son los sólidos solubles y la acidez total. Los sólidos solubles, principalmente azúcares como la fructosa, la glucosa y la sacarosa, son cruciales porque proporcionan la dulzura que balancea el sabor de la fruta. La acidez, que proviene de ácidos orgánicos como el cítrico, el málico y el tartárico, contribuye al sabor agrio o ácido de la fruta. La interacción entre la dulzura de los azúcares y la acidez de estos ácidos es lo que confiere a las frutas rojas su sabor característico y distintivo. Para lograr el sabor óptimo que las hace tan apreciadas, las frutas rojas necesitan tener una alta concentración de ambos, azúcares y ácidos. Esta combinación no solo afecta la percepción directa del sabor sino también la intensidad y la complejidad del aroma de la fruta, haciendo que su consumo sea una experiencia sensorial rica y satisfactoria. [9]

El aumento en el consumo de frutas rojas se puede atribuir significativamente a la creciente conciencia sobre sus beneficios para la salud, especialmente en relación con la prevención de enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles. Estas frutas, ricas en nutrientes esenciales y compuestos bioactivos, han sido vinculadas con la reducción del

riesgo de una variedad de condiciones médicas como enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, artritis, inflamaciones crónicas y el proceso de envejecimiento. Este vínculo se debe principalmente a la alta concentración de antioxidantes presentes en las frutas rojas, incluidas las antocianinas y otros polifenoles, que combaten el estrés oxidativo en el cuerpo, un factor subyacente común en muchas de estas enfermedades. Los antioxidantes ayudan a neutralizar los radicales libres, moléculas inestables que pueden causar daño celular y contribuir al desarrollo de estas condiciones de salud. [23]; [24] La inclusión regular de frutas rojas en la dieta se promueve como una estrategia efectiva de salud preventiva, no solo por sus beneficios directos en términos de nutrición y protección antioxidante, sino también por su capacidad para mejorar la dieta general al añadir diversidad y placer gustativo, fomentando así un estilo de vida más saludable y equilibrado.

1.3.2. Frambuesa (*Rubus idaeus L.*).

La frambuesa (*Rubus idaeus L.*), un arbusto perenne perteneciente a la familia de las rosáceas, tiene su origen en las regiones templadas del norte de Asia y Europa Oriental. Este fruto se caracteriza por su capacidad de adaptación a climas moderadamente fríos, lo que explica su distribución geográfica. El nombre de la especie, "Idaeus", se deriva de su asociación histórica con la colina de Ida en Grecia, un lugar significativo en la mitología y la historia griega. Esta conexión etimológica refleja no solo el origen geográfico del fruto sino también su relevancia cultural en las sociedades antiguas. En cuanto a su producción contemporánea, los principales países que cultivan frambuesas a gran escala incluyen Rusia, Polonia, Serbia, Estados Unidos y Ucrania. Estos países aprovechan sus climas templados, que son ideales para el cultivo de frambuesas, para liderar la producción global. El cultivo extensivo en estas regiones subraya la importancia económica y nutricional de las frambuesas, siendo valoradas tanto por su sabor como por sus beneficios para la salud. [26]

Las frambuesas disponibles en el mercado provienen de una rica diversidad de especies y variedades, que se han desarrollado y cultivado a partir de varias formas silvestres originarias de diferentes regiones. El arbusto de frutos rojos (*Rubus idaeus*), nativo de Europa, ha sido una fuente significativa para el desarrollo de variedades comerciales, ofreciendo frambuesas con características deseables como sabor, color y tamaño. Además de *Rubus idaeus*, en América del Norte se encuentran otras especies y variedades que

también han contribuido a la diversidad de frambuesas en el mercado. Estas incluyen *Rubus strigosus*, conocido como frambueso silvestre, que es nativo del norte de América y a menudo se caracteriza por frutos de un rojo intenso. *Rubus occidentalis*, o frambueso negro, es otra especie importante que, como su nombre lo indica, produce frambuesas de color negro. Por último, *Rubus neglectus*, conocido como frambueso púrpura, produce frambuesas que tienen un distintivo color púrpura. La existencia de estas diferentes especies y su cultivo tanto en estado silvestre como en formas cultivadas ha permitido el desarrollo de una amplia gama de variedades de frambuesas que satisfacen diversos gustos y preferencias del mercado. Cada una de estas especies aporta características únicas a las frambuesas que encontramos hoy en día, enriqueciendo así la oferta disponible para los consumidores en términos de sabor, color y textura. [27]

La frambuesa es clasificada como un fruto no climatérico, lo que implica características específicas en su patrón de maduración y respiración que influyen directamente en cómo debe ser cosechada y manejada después de la cosecha. A diferencia de los frutos climatéricos, que continúan madurando después de ser recolectados debido a la producción de etileno, los frutos no climatéricos como la frambuesa no siguen madurando una vez que son separados de la planta. Esto significa que las frambuesas deben alcanzar su plena madurez en la planta antes de ser cosechadas. Su patrón respiratorio establece que una vez recolectadas, no experimentarán más cambios significativos en su dulzura o textura. La cosecha en el punto óptimo de madurez es crucial para asegurar la mejor calidad del fruto en términos de sabor, color y nutrientes. Este comportamiento tiene implicaciones importantes para los productores y consumidores. Los agricultores deben ser precisos en el momento de la cosecha para obtener frutas con las características deseadas, y una vez cosechadas, las frambuesas deben ser manejadas con cuidado y comercializadas rápidamente para mantener su calidad óptima, ya que no toleran bien el almacenamiento prolongado. [28]

El fruto de la frambuesa se clasifica como un agregado, compuesto por múltiples drupéolas que están adheridas a un receptáculo central de forma cónica. Esta estructura permite que el fruto se desarrolle a partir de múltiples ovarios de una sola flor. Cada una de estas drupéolas está formada por varias capas. La capa más interna es el endocarpio, que encierra una semilla dura. Esta semilla es crucial para la reproducción de la planta, ya que alberga el material genético necesario para formar una nueva planta. Rodeando el endocarpio

se encuentra el mesocarpio, que está compuesto de células parenquimáticas. Estas células son turgentes, es decir, están llenas de agua, lo que contribuye a la jugosidad del fruto. Las paredes de estas células son delgadas, facilitando la liberación de jugos y sabores cuando el fruto se consume. Finalmente, el exocarpio es la capa más externa que protege el fruto. En las frambuesas, esta capa es típicamente de color rojo y no solo sirve como una barrera física contra el ambiente, sino que también atrae a los animales y a los humanos, promoviendo la dispersión de las semillas. En resumen, la frambuesa se caracteriza por su estructura compleja y multicapa, donde cada capa desempeña roles específicos en la protección, nutrición y reproducción del fruto. (Fig.1) [29]

Nutricionalmente, la frambuesa destaca por su rica composición y los beneficios que aporta a la salud. Este fruto es particularmente notable por su alto contenido de vitamina C, proporcionando aproximadamente 25 mg por 100 g, lo que equivale al 30% de la ingesta diaria recomendada. Esta vitamina es esencial para el sistema inmunológico, la salud de la piel y la reparación de tejidos. Además, la frambuesa contiene provitamina A, con 13 unidades internacionales (UI) por 100 g, y vitamina B6, con 13 mg por 100 g, ambas vitales para funciones como la visión y el metabolismo energético, respectivamente. En términos de minerales, ofrece una cantidad significativa (210 mg por 100 g) de elementos esenciales como potasio, calcio, magnesio y hierro, que son cruciales para la regulación de procesos corporales como la presión arterial, la función muscular y la transferencia de oxígeno. La frambuesa también es una excelente fuente de fibra, proporcionando entre 4 y 7 gramos por cada 100 gramos, lo que contribuye a la salud digestiva y al control de la glucemia. [30]. Además de estos nutrientes, la frambuesa es rica en compuestos fenólicos como la quercetina y el ácido elágico, conocidos por sus potentes propiedades anticancerígenas. Investigaciones realizadas en la Universidad de Carolina del Sur han destacado en particular el papel del ácido elágico, mostrando su efectividad en la prevención del cáncer. [31] Este compuesto también ha sido reconocido por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, que juegan un papel en la protección contra enfermedades crónicas y en la promoción de la salud general. [32]

Frambuesa



Figura 1 Muestra los frutos de frambuesa.

Fuente: El Comercio

1.3.3. Antocianinas.

El término "antocianina" se deriva de dos palabras griegas: "anthos", que significa flor, y "kyanos", que significa azul. Esta etimología refleja el papel visible y prominente que juegan estas sustancias en el mundo natural, específicamente en la coloración de las plantas. Las antocianinas son pigmentos solubles en agua que pertenecen a la clase de compuestos conocidos como flavonoides. Están presentes en una variedad de tonalidades que incluyen rojo, rosa, púrpura y azul, dependiendo del pH del tejido de la planta en el que se encuentran. Estos colores no solo añaden una dimensión estética a las plantas, sino que también cumplen funciones ecológicas esenciales, como atraer a los polinizadores y proteger contra los daños causados por la luz ultravioleta. Dada su vistosidad, las antocianinas tienen un papel crucial en la interacción de las plantas con su entorno, ayudando a atraer a insectos y otros animales que participan en procesos como la

polinización y la dispersión de semillas. Además, en la alimentación humana, estos pigmentos no solo mejoran el atractivo visual de los alimentos, sino que también aportan beneficios antioxidantes y promueven la salud, lo que aumenta su valor nutricional y terapéutico. [33]

Las antocianinas, reconocidas por su capacidad de proporcionar color a las plantas, son compuestos químicos que se caracterizan por su alta inestabilidad y tendencia a deteriorarse rápidamente. La durabilidad y eficacia de estas moléculas se ven comprometidas por una serie de factores ambientales y químicos, haciendo que su manejo y uso sean desafiantes.

- pH: El nivel de acidez o alcalinidad del entorno influye directamente en la estabilidad de las antocianinas. En ambientes ácidos, estas moléculas tienden a ser más estables y vibrantes, mientras que en condiciones más alcalinas, su estabilidad disminuye.
- Temperatura de almacenamiento: Las temperaturas elevadas aceleran los procesos químicos que provocan la degradación de las antocianinas, mientras que temperaturas más bajas ayudan a preservar su estructura y función.
- Estructura química: Las propiedades intrínsecas de las antocianinas, como su configuración molecular, afectan su resistencia a los factores externos y su capacidad para mantener su forma y función a lo largo del tiempo.
- Concentración: Cuanto mayor es la concentración de antocianinas en una solución, más propensas son a interactuar entre sí o con otros componentes del medio, lo que puede llevar a su degradación.
- Luz: La exposición a la luz puede inducir reacciones fotoquímicas que alteran la estructura química de las antocianinas, reduciendo su color y estabilidad.
- Oxígeno: El oxígeno puede reaccionar con las antocianinas, causando su oxidación y resultando en una pérdida de efectividad y cambios en su apariencia.

- Solventes: Dependiendo del solvente utilizado para disolver o extraer antocianinas, puede haber una interacción que altere su estabilidad y solubilidad.
- Presencia de enzimas: Las enzimas específicas presentes en el entorno pueden descomponer las antocianinas, afectando su integridad y color.
- Flavonoides y proteínas: Otros compuestos naturales, como los flavonoides y las proteínas, pueden interactuar con las antocianinas de formas que afectan su estabilidad y función.
- Iones metálicos: Ciertos metales pueden actuar como catalizadores en reacciones que llevan a la degradación oxidativa de las antocianinas, disminuyendo su vida útil y eficacia.

Debido a esta sensibilidad a numerosos factores, es crucial manejar las antocianinas con cuidado para asegurar que conserven sus propiedades beneficiosas y estéticas. [34]

Se han catalogado más de 500 tipos diferentes de antocianinas, lo que demuestra la diversidad y complejidad de estos compuestos en la naturaleza. Entre esta amplia variedad, seis antocianidinas principales se han identificado como componentes comunes en los alimentos, destacándose por su presencia y relevancia nutricional. Estas incluyen:

- Pelargonidina (Pg): Conocida por impartir tonos rojos brillantes a las frutas como las fresas.
- Cianidina (Cy): Produce colores rojos a púrpuras y se encuentra en frutas como las cerezas y las frambuesas.
- Delfinidina (Df): Responsable de tonos azulados y se halla en alimentos como los arándanos.
- Peonidina (Pn): Da colores rojo-púrpura y se encuentra principalmente en las moras.
- Petunidina (Pt): Contribuye con colores púrpuras más intensos y se encuentra en bayas como las uvas negras.

- Malvidina (Mv): Presente en uvas y vinos, proporciona un color rojo violáceo profundo.

Cada uno de estos tipos de antocianina se diferencia por la cantidad de grupos hidroxilo (-OH) que presenta en su estructura, específicamente en el anillo B de su molécula. Este detalle estructural es crucial porque afecta directamente las propiedades ópticas de las antocianinas, incluyendo su estabilidad y el tono exacto del color que producen. La posición y cantidad de estos grupos hidroxilos influyen en cómo interactúan las antocianinas con la luz y, por lo tanto, en cómo percibimos su color. Esta variación permite que las plantas y los alimentos que contienen antocianinas ofrezcan una amplia gama de colores atractivos y vibrantes que son apreciados tanto por su valor estético como por sus beneficios para la salud. [35]

1.3.3.1. Estructura química de antocianinas

Las antocianinas son compuestos que pertenecen a la familia de los flavonoides, un grupo de fitoquímicos conocidos por sus propiedades antioxidantes y beneficios para la salud. Estos compuestos tienen una estructura característica que incluye una base de antocianidina, la cual es una molécula sin azúcar conocida como aglicona. A esta base de antocianidina se le une un tipo de azúcar, como glucosa, ramnosa, xilosa, galactosa o fructosa. Esta unión del azúcar modifica las propiedades de la antocianidina y contribuye a la solubilidad y estabilidad de la antocianina en el medio acuoso de las células vegetales. La estructura de la antocianidina misma consta de tres anillos: dos anillos aromáticos, conocidos como anillos A y B, y un anillo heterocíclico que contiene oxígeno, denominado anillo C. El anillo C, que es el núcleo central de la estructura, está unido al anillo A y, a través de un enlace carbono-carbono, también se conecta al anillo B. Esta disposición de anillos es crucial porque la forma y las sustituciones químicas en estos anillos determinan las propiedades de absorción de luz de las antocianinas, lo que a su vez influye en el color que estos compuestos impartirán a las plantas y alimentos. Esta estructura tricíclica les permite a las antocianinas absorber luz en el espectro visible, resultando en los vibrantes colores rojos, púrpuras y azules que son tan característicos en muchas flores, frutas y verduras. [36]

Estructura del catión flavilio

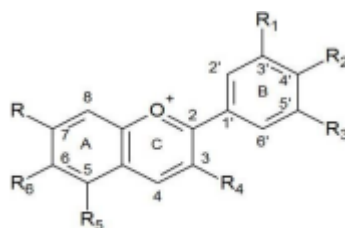


Figura 2 Estructura química del catión flavilio.

Fuente: Volp et al., 2008, p. 144

1.3.3.2. Efecto del pH

La sensibilidad al pH es una de las características más críticas de las antocianinas, influyendo significativamente en su aplicabilidad en diversos procesos y productos. Esta sensibilidad afecta directamente tanto el color visible de las antocianinas como su estabilidad química, factores clave para su uso en la industria alimentaria, cosmética y otras áreas. En ambientes con un pH bajo, es decir, en condiciones ácidas, las antocianinas exhiben un color rojo vibrante. Este efecto se debe a la forma molecular que las antocianinas adoptan en un entorno ácido, que refleja efectivamente la luz en el espectro del rojo. Sin embargo, a medida que el pH de la solución aumenta y se vuelve menos ácido, la intensidad del color rojo disminuye notablemente. Esto ocurre porque el cambio en el pH altera la estructura de la antocianina, afectando su capacidad para absorber y reflejar la luz en el rango de color rojo. Cuando el entorno se vuelve alcalino, las antocianinas pueden cambiar a un color azul. Aunque este cambio puede ser deseable para ciertas aplicaciones que requieren este tono, el color azul resultante es generalmente inestable. La inestabilidad en ambientes alcalinos se debe a la degradación estructural de las antocianinas, que no solo altera el color sino que también reduce la vida útil del compuesto en estas condiciones. Esta inestabilidad limita significativamente la utilidad de las antocianinas en productos que requieren una exposición prolongada a condiciones de pH elevado, desafiando su aplicación en amplios contextos industriales. [37]

El comportamiento de las antocianinas en relación con el pH es fundamental para entender cómo se pueden manejar y utilizar en diversas aplicaciones. Este comportamiento afecta directamente su estabilidad y el color que exhiben. Cuando el pH es inferior a 2, las antocianinas se encuentran en su estado más estable, predominando en la forma del ion flavilio. En este estado, el pigmento muestra un color rojo intenso y mantiene aproximadamente el 100% de esta forma, lo que indica una estabilidad óptima para aplicaciones que requieren una intensidad de color prolongada sin degradación significativa. A medida que el pH aumenta, las antocianinas experimentan una pérdida de protones, y ocurre la adición de una molécula de agua en la posición 2 del ion flavilio. Este cambio estructural resulta en un equilibrio entre dos formas menos estables: la pseudobase o hemiacetal y la forma chalcona, también conocida como la forma de cadena abierta. Estas formas son menos coloreadas y más sensibles a cambios adicionales en el ambiente. Cuando el pH alcanza un nivel neutro, alrededor de 7, se forman estructuras quinoidales de color púrpura. Sin embargo, estas formas quinoidales son inestables y se degradan rápidamente, especialmente en presencia de aire, donde la oxidación acelera su descomposición. Este fenómeno limita la utilidad de las antocianinas en productos que están expuestos a condiciones de pH neutro y aire, ya que la degradación resultante afecta negativamente tanto la apariencia como la eficacia del pigmento. Estos cambios asociados al pH son cruciales para los diseñadores de productos y procesadores de alimentos, cosméticos o textiles que desean utilizar antocianinas como colorantes naturales, pues deben considerar cuidadosamente las condiciones de pH para maximizar la estabilidad y la eficacia del color. [38]

En un medio acuoso, las antocianinas pueden adoptar diversas formas estructurales dependiendo del pH, cada una con características distintas en cuanto a color y estabilidad. Estas formas incluyen la base quinoidal (A), el catión flavilio rojo (AH), la pseudobasa hemiacetal (B) y la chalcona incolora (C). Esta variabilidad es crucial para comprender cómo las antocianinas pueden ser utilizadas y manipuladas en diversas aplicaciones. [39]

- Catión flavilio (AH): A un pH extremadamente bajo, como 0,5, predominan los cationes flavilio, que son la forma más coloreada y estable de las

antocianinas. Esta forma es responsable del intenso color rojo observado en muchas frutas y flores.

- Forma carbinol: Con el incremento del pH, la concentración de catión flavilio disminuye y la molécula sufre un ataque nucleofílico del agua, transformándose en la forma carbinol. Esta transformación implica la pérdida de la unión doble conjugada entre los anillos A y B, resultando en una estructura incolora.
- Base quinoidal azul (A): A medida que el pH aumenta, el catión flavilio tiende a perder protones y se transforma en la base quinoidal azul, aunque esta forma se encuentra en concentraciones menores.
- Chalcona (C): A pH superiores a 9, la estructura del anillo carbinol se abre, formando la chalcona, que se caracteriza por su color amarillo. Este cambio aumenta aún más la diversidad de colores que las antocianinas pueden exhibir bajo diferentes condiciones de pH.

La cantidad relativa de cada forma en un estado de equilibrio varía de acuerdo al pH y a la estructura específica de la antocianina en cuestión. En general, en un rango de pH entre 4,0 y 5,5, predominan las formas carbinol y chalcona, y el color es prácticamente inexistente; mientras que por encima de un pH de 5,0, la base quinoidal está presente pero en concentraciones tan bajas que no influyen significativamente en el color de la solución. [40], Dado que el catión flavilio es la forma más estable y colorida de las antocianinas, mantener un pH bajo es crucial para preservar estas características. Este entendimiento es esencial para aplicaciones que buscan explotar el potencial colorante de las antocianinas, asegurando condiciones óptimas para su estabilidad y visibilidad. [41].

Transformaciones estructurales de antocianinas

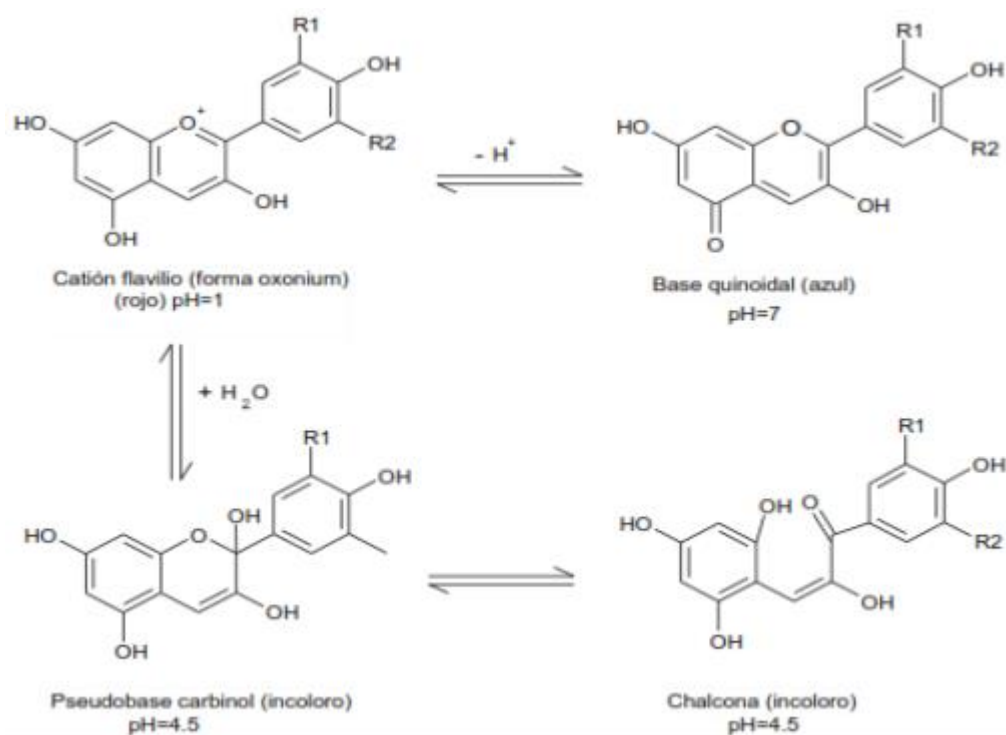


Figura 3 Muestra la transformaciones estructurales de antocianinas en relación al pH

Fuente: Wrolstad 2004

1.3.3.3. Efecto de temperatura

La temperatura desempeña un papel fundamental en determinar la estabilidad de las antocianinas, siendo un factor crítico que afecta su durabilidad y eficacia como pigmentos. A medida que la temperatura de una solución que contiene antocianinas excede los 25 °C, es decir, la temperatura ambiente, la tasa de degradación de estos compuestos tiende a aumentar significativamente. Este fenómeno se observa incluso cuando se intenta estabilizar las antocianinas mediante la adición de ácido tánico, que es conocido por sus propiedades conservantes y estabilizadoras. La degradación acelerada de las antocianinas a temperaturas más altas puede deberse a procesos como la

oxidación y la descomposición térmica, que se ven facilitados por el aumento de la energía térmica disponible en el sistema. Además, este efecto de la temperatura se ve exacerbado cuando el pH del medio es más elevado. En condiciones de pH más altas, las antocianinas son naturalmente menos estables, y el calor adicional puede promover aún más la descomposición de estas moléculas, alterando su estructura química y, en consecuencia, su capacidad para impartir color. Por lo tanto, para maximizar la vida útil y mantener la integridad de las antocianinas, especialmente en aplicaciones industriales y comerciales donde el color es crucial, es esencial controlar tanto la temperatura como el pH del entorno en el que se encuentran estas moléculas. Esto implica, en muchos casos, mantener las soluciones de antocianinas a bajas temperaturas y en condiciones de pH controladas para evitar su rápida degradación y preservar sus propiedades colorantes. [42]

La temperatura de extracción es un aspecto crítico en el proceso de obtención de antocianinas, dado que estas moléculas pueden tolerar temperaturas de hasta 60 °C. Sin embargo, superar este umbral puede resultar en la extracción no solo de antocianinas sino también de ácidos fenólicos y taninos, lo que podría afectar la pureza y calidad del extracto final. [22] Además, la estabilidad de las antocianinas varía según su estructura química. Las antocianinas que poseen un alto grado de hidroxilación en sus estructuras tienden a ser menos estables en comparación con aquellas que están metiladas, glicosiladas o aciladas. Estas modificaciones estructurales pueden influir significativamente en la resistencia de las antocianinas frente a la degradación térmica.

La degradación térmica de las antocianinas puede seguir tres rutas principales:

- Primera vía: Inicia con la conversión del catión flavilium en una base quinoidal, seguida por la transformación en varios intermediarios, y culmina con la formación de derivados de cumarina y un compuesto derivado del anillo B. Esta ruta ilustra la progresiva descomposición de la estructura original de la antocianina.
- Segunda vía: Comienza con la transformación del catión flavilium en una base carbinol incolora, que luego se convierte

en chalcona. Esta transición finaliza con la formación de productos de degradación de color marrón, indicando una pérdida significativa del color original.

- Tercera vía: Involucra la degradación de productos derivados de la chalcona, que también contribuye a la pérdida del color y la estabilidad del compuesto.

Para el almacenamiento a largo plazo de las antocianinas, mantener bajas temperaturas es esencial para preservar su estabilidad. Las bajas temperaturas ayudan a minimizar las reacciones químicas que podrían llevar a la degradación de las antocianinas, manteniendo así su estructura y función. Este manejo cuidadoso es crucial para maximizar la vida útil y la efectividad de las antocianinas como colorantes naturales en diversas aplicaciones. [43]

La exposición de extractos antociánicos a la radiación ultravioleta (UV) es una preocupación importante debido a que puede desencadenar reacciones de copigmentación con otros compuestos presentes en el extracto. Estas reacciones, si bien pueden afectar la estabilidad de las antocianinas, también pueden conducir a la formación de compuestos de color marrón a través de procesos de degradación oxidativa. La luz UV tiende a desestabilizar las antocianinas al promover cambios en su estructura química que resultan en una pérdida del color vibrante y, a menudo, en la formación de productos de degradación menos deseables. Sin embargo, a pesar de estos desafíos, las antocianinas están experimentando un crecimiento en su popularidad, impulsado principalmente por la creciente conciencia sobre los beneficios para la salud asociados con su consumo regular. Estos compuestos son valorados por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y potencialmente protectoras contra diversas enfermedades crónicas. [44] La demanda de antocianinas ha crecido gracias a una mayor disponibilidad de extractos y jugos de frutas que contienen altas concentraciones de estos pigmentos. Además, los productos enriquecidos con antocianinas se están volviendo más comunes en el mercado, ofreciendo a los consumidores más opciones para incorporar estos compuestos beneficiosos en su dieta. Esta tendencia refleja un mayor interés en los alimentos funcionales y suplementos que no solo nutren sino que también ofrecen beneficios específicos para la salud.[45]

1.3.3.4. Efecto del oxígeno y ácido ascórbico

La presencia de oxígeno juega un papel crucial en la degradación de las antocianinas, impactando su estabilidad en condiciones variadas, independientemente de la exposición a la luz o del pH del medio. Este proceso de degradación es significativamente influenciado por la reactividad del oxígeno, que puede alterar las antocianinas a través de mecanismos de oxidación.

- Oxidación directa: En este proceso, las moléculas de oxígeno interactúan directamente con las antocianinas, afectando su estructura molecular. Este tipo de interacción puede llevar a la pérdida del color vibrante de las antocianinas y a la formación de productos de degradación menos estables y menos coloridos.
- Oxidación indirecta: Además de la interacción directa, las antocianinas también pueden degradarse a través de reacciones en las que el oxígeno primero reacciona con otros componentes del medio, formando especies reactivas de oxígeno o radicales libres. Estos compuestos reactivos pueden a su vez interactuar con las antocianinas, resultando en cambios estructurales que comprometen su estabilidad y función.

Ambos mecanismos resaltan la sensibilidad de las antocianinas a las condiciones oxidativas y subrayan la importancia de controlar la presencia de oxígeno cuando se manejan estos compuestos. Esto es especialmente crítico en el almacenamiento y procesamiento de productos que contienen antocianinas, donde la minimización de la exposición al oxígeno puede ayudar significativamente a preservar la integridad y las propiedades colorantes de estas valiosas moléculas. [46]

El estudio realizado por Daravingas y Cain en 1968 sobre la degradación del pigmento en el jugo de frambuesa arrojó resultados significativos que destacaron el impacto del entorno en la estabilidad de las antocianinas. Descubrieron que, después del pH, la presencia de oxígeno molecular era el segundo factor más crítico que influía en la degradación del pigmento en los jugos de frambuesa. Este hallazgo subraya cómo el oxígeno puede acelerar la pérdida de la calidad y la integridad del color en productos que contienen antocianinas. En sus experimentos, observaron que la sustitución del oxígeno por nitrógeno en el entorno de almacenamiento o procesamiento del jugo de frambuesa

resultaba en una notable mejora en la estabilidad de las antocianinas. El uso de nitrógeno ayuda a crear una atmósfera inerte alrededor de las antocianinas, protegiéndolas de las reacciones de oxidación que pueden desencadenarse en presencia de oxígeno. Este método de modificación del entorno gaseoso efectivamente ralentiza los procesos de degradación, conservando mejor el color y la calidad del jugo de frambuesa.

La estrategia de modificar la atmósfera en la que se almacenan o procesan los productos que contienen antocianinas, como reemplazar el oxígeno por nitrógeno, ha probado ser efectiva no solo para el jugo de frambuesa sino también para una amplia gama de alimentos y bebidas. Este enfoque ayuda a preservar las antocianinas al protegerlas de los efectos degradantes del oxígeno, extendiendo así la vida útil de los productos y manteniendo su calidad. El oxígeno puede causar la degradación de las antocianinas a través de dos mecanismos principales: la oxidación directa, donde las antocianinas mismas son oxidadas, y la oxidación indirecta, donde otros componentes del medio se oxidan primero y luego reaccionan con las antocianinas. Estos procesos no solo disminuyen la estabilidad de las antocianinas sino que también afectan su color y apariencia visual. [47]. Por otro lado, un fenómeno interesante se observa en la micro-oxigenación de muestras de vino, como destaca Cunha. Aunque en general el oxígeno es perjudicial para la estabilidad de las antocianinas, en un entorno controlado como la micro-oxigenación, puede ayudar a desarrollar nuevos pigmentos derivados de las antocianinas. Este proceso no solo aumenta la intensidad del color del vino sino que también contribuye a la formación de polímeros marrones a través de reacciones de polimerización. Estos polímeros pueden contribuir a la complejidad del color y a las propiedades sensoriales del vino, lo que puede ser visto como un cambio deseable en este contexto particular. En resumen, mientras que la exposición al oxígeno generalmente resulta en una degradación negativa de las antocianinas en la mayoría de los alimentos y bebidas, en algunos casos específicos y bajo condiciones controladas, como en la micro-oxigenación del vino, puede ser utilizada ventajosamente para mejorar el producto final.[2]

La estabilidad de las antocianinas es afectada significativamente por la presencia de oxígeno y ácido ascórbico, así como por factores como los iones metálicos, la actividad del agua y la concentración del pigmento. La interacción de

estos elementos puede provocar una rápida degradación de las antocianinas, impactando su color y estabilidad. [48]

Además, el ácido ascórbico puede afectar la estabilidad de las antocianinas a través de una reacción de condensación entre el ácido y los pigmentos. Garzón y Wrolstad confirmaron la aceleración de la destrucción de antocianinas de fresa cuando el ácido ascórbico está presente, tanto en sistemas naturales como en sistemas modelo. [49] Por otro lado, la concentración del pigmento y la actividad del agua en el medio afectan la estabilidad del color de las antocianinas [49].

- Oxígeno y ácido ascórbico: El ácido ascórbico, también conocido como vitamina C, puede inducir la decoloración de las antocianinas en presencia de oxígeno y de iones metálicos como el cobre o el hierro. Esto se debe a la formación de peróxido de hidrógeno durante la oxidación del ácido ascórbico, lo que a su vez provoca la degradación de las antocianinas. Este efecto se ha observado tanto en sistemas naturales como en modelos experimentales, donde la presencia de ácido ascórbico acelera notablemente la destrucción de las antocianinas, como lo demostraron Garzón y Wrolstad en estudios con antocianinas de fresa.

- Reacción de condensación: Además de su papel en la formación de peróxido de hidrógeno, el ácido ascórbico también puede afectar directamente la estabilidad de las antocianinas mediante una reacción de condensación entre el ácido y los pigmentos. Esta reacción puede contribuir adicionalmente a la pérdida de color y la degradación del pigmento.

- Concentración del pigmento y actividad del agua: Otros factores como la concentración del pigmento y la actividad del agua en el medio también juegan roles cruciales. Por ejemplo, Garzón y Wrolstad encontraron que aumentar la concentración de pigmento en jugos concentrados de fresa mejoraba la estabilidad de las antocianinas, ofreciendo una protección contra el cambio de color en comparación con los jugos de fresa menos concentrados. Además, estudios de Olaya et al. sobre antocianinas en Mora de Castilla y Tamarillo mostraron que una actividad de agua de 0.35 provocaba la mayor tasa de degradación de las antocianinas a temperaturas de almacenamiento de 40 °C, posiblemente debido a una mayor interacción entre el agua y el catión flavilio, que forma una pseudobase inestable. [50].

En resumen, la estabilidad de las antocianinas en productos alimenticios y otros sistemas depende de un delicado equilibrio de condiciones químicas y físicas. La manipulación cuidadosa de estos factores puede ayudar a preservar la calidad y la apariencia de alimentos ricos en antocianinas.

1.3.4. Proceso de extracción de antocianinas.

Los métodos convencionales de extracción de pigmentos, como las antocianinas, comúnmente involucran el uso de ácido clorhídrico (HCl) diluido en metanol. Esta combinación se ha encontrado efectiva porque el HCl ayuda a estabilizar las antocianinas durante la extracción, mientras que el metanol actúa como un solvente efectivo para los pigmentos. Un contenido muy bajo de HCl, alrededor del 0.001%, se considera más eficaz para la extracción de estos compuestos. Sin embargo, debido a las preocupaciones asociadas con la seguridad y la salud, estos métodos presentan desafíos significativos. El HCl, por su naturaleza, es un compuesto corrosivo que puede ser peligroso de manejar y puede causar daño a los equipos de laboratorio y de producción. Además, el metanol es tóxico para los humanos, presentando riesgos de toxicidad y seguridad en su manipulación y disposición. Dada la toxicidad del metanol y la naturaleza corrosiva del HCl, los investigadores en el campo de la ciencia de alimentos y otras áreas están buscando y prefiriendo alternativas más seguras para los sistemas de extracción de pigmentos. Estas alternativas incluyen el uso de solventes menos tóxicos y técnicas más amigables con el medio ambiente, como la extracción con fluidos supercríticos, la extracción asistida por ultrasonido o el uso de mezclas de solventes más seguras como etanol o agua. Estos métodos alternativos buscan no solo reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente sino también mejorar la eficiencia y la selectividad de la extracción de pigmentos naturales. [51]

La extracción de antocianinas usando alcoholes como metanol y etanol es una técnica ampliamente utilizada y meticulosamente estudiada debido a la efectividad de estos solventes en solubilizar estos pigmentos. Según un estudio de Castaneda et al., el uso de metanol resulta ser particularmente eficiente, superando a otros solventes como el etanol. Por ejemplo, la extracción de pulpa de uva con metanol demostró ser un 20% más efectiva que utilizando etanol. Sin embargo, el etanol es generalmente preferido en la industria alimentaria debido a su menor toxicidad comparado con el metanol. [34] Además, los

métodos que emplean metanol o etanol acidificado están cobrando relevancia, ya que la acidificación ayuda a estabilizar la estructura de las antocianinas en entornos con un pH inferior a 3.5. Es crucial evitar condiciones excesivamente ácidas durante la extracción, ya que un pH muy bajo puede inducir la hidrólisis ácida de las antocianinas, lo cual podría romper los enlaces 3-monósidos y reducir la eficacia de la extracción.[42] En investigaciones específicas sobre el acaí, R.F. Stringheta experimentó con distintas concentraciones de etanol (95%, 80%, 70%, 60% y agua) y agentes acidulantes (0.1% de HCl y 0.3% de ácido cítrico) para optimizar la extracción de antocianinas durante el proceso de despulpado. Los resultados mostraron que una solución de 80% de etanol con 0.3% de ácido cítrico fue la más efectiva, logrando extraer 1249.74 mg de antocianinas totales por litro. Este enfoque ilustra cómo la selección cuidadosa de los solventes y las condiciones de extracción pueden maximizar la recuperación de antocianinas, ofreciendo potenciales beneficios para aplicaciones tanto en la industria alimentaria como en la nutricional.

La extracción de antocianinas puede ser optimizada utilizando diversas mezclas y técnicas, donde el equilibrio entre la eficacia del solvente y la seguridad alimentaria es crucial. La mezcla de 70% etanol y 30% agua ha demostrado ser tan eficiente como el uso de metanol para extraer antocianinas, ofreciendo una alternativa más segura para aplicaciones en la industria alimentaria. El uso de ácidos débiles durante las extracciones es recomendable para ayudar a estabilizar las antocianinas y mejorar la eficiencia de la extracción. Monitorear la acidez del proceso es crucial para asegurar que las condiciones sean óptimas y no se propicie la degradación de los compuestos. En el caso del metanol como solvente, el ácido cítrico ha demostrado ser el más efectivo de los ácidos orgánicos, seguido por el ácido tartárico, fórmico, acético y propiónico. Con agua como solvente, el ácido cítrico también es el más recomendado. [4] Bridle y Timberlake han propuesto un método alternativo que es particularmente simple y eficiente para la extracción de antocianinas de la uva. Este método consiste en la extracción acuosa del bagazo de uva, que resulta en soluciones diluidas de antocianinas que posteriormente pueden ser concentradas utilizando técnicas como el secado en spray-drier. Esta técnica no solo es efectiva sino también amigable con el entorno, ya que evita el uso de solventes orgánicos potencialmente dañinos y simplifica el proceso de extracción al usar solo agua como solvente. Estas estrategias reflejan un enfoque consciente hacia métodos de extracción que son tanto

efectivos como adecuados para el uso en la producción de alimentos, asegurando la obtención de antocianinas de manera eficiente y segura.

El estudio sobre la extracción acuosa de antocianinas a partir de semillas de girasol-morado ilustra un enfoque innovador que supera algunos métodos tradicionales. Se descubrió que el uso de agua sulfurosa, específicamente con una concentración de 1000 mg/L de dióxido de azufre (SO₂), resultó ser más efectivo que la extracción con una mezcla de etanol, ácido acético y agua. Este hallazgo es particularmente significativo porque ofrece una alternativa potencialmente más segura y sencilla para la extracción de estos pigmentos. La eficacia superior de la extracción con agua sulfurosa se atribuye a dos mecanismos principales:

- Interacción con iones HSO₃⁻: Las antocianinas interactúan favorablemente con los iones bisulfito (HSO₃⁻), formados en el agua a partir del SO₂ añadido. Esta interacción puede estabilizar las antocianinas en solución, protegiéndolas de la oxidación y mejorando su extracción al mantenerlas en una forma más soluble.

- Mejora en la difusión a través de la pared celular: La presencia de bisulfito también puede afectar la permeabilidad de la pared celular de las semillas, facilitando una mayor difusión de las antocianinas hacia el exterior. Esto se debe posiblemente a un efecto del bisulfito sobre los componentes estructurales de la pared celular, lo que aumenta su porosidad y permite que las antocianinas se liberen más fácilmente.

Este método de extracción no solo muestra una eficiencia mejorada en términos de la cantidad de antocianinas extraídas, sino que también podría ofrecer beneficios en términos de costo y impacto ambiental, al reducir la necesidad de solventes orgánicos y ácidos fuertes. Además, la capacidad del bisulfito para actuar como un conservante y antioxidante podría contribuir a una mayor estabilidad del extracto final, lo que es ventajoso para el almacenamiento y uso posterior de las antocianinas extraídas. [52].

El estudio del proceso de extracción de antocianinas de cáscaras de uva en lecho fijo utilizando metanol como solvente proporciona insights interesantes en la optimización de este tipo de extracciones. Utilizando el orujo, que es un subproducto de la vinificación del vino tinto, como materia prima, el estudio se centró en maximizar la recuperación de

antocianinas, un pigmento valioso tanto por sus propiedades colorantes como por sus beneficios para la salud.

Mecanismo de extracción y resultados clave:

- Control de la transferencia de masa: Uno de los hallazgos más significativos del estudio fue el fuerte control de la transferencia de masa. Esto implica que la tasa de extracción de antocianinas estaba limitada principalmente por la difusión de estas moléculas desde la matriz sólida del orujo hasta la fase líquida del metanol. Este tipo de control sugiere que la estructura del orujo de uva y la viscosidad del metanol son factores críticos que afectan la eficiencia de la extracción.

- Influencia de la temperatura: Los mejores resultados de extracción se lograron a temperaturas elevadas, específicamente alrededor de los 60°C. La temperatura más alta ayuda a aumentar la solubilidad de las antocianinas en el metanol y también puede mejorar la tasa de difusión al reducir la viscosidad del solvente. Además, el calor puede alterar las propiedades físicas del orujo, haciendo que la matriz sea más permeable y facilitando la liberación de antocianinas.

- Flujo del solvente: Un flujo de 22 mol/min fue óptimo para la extracción. Un flujo adecuado del solvente es crucial para asegurar que las antocianinas disueltas sean rápidamente removidas de la superficie del sólido, lo que previene la saturación del solvente cerca del material y mantiene un gradiente de concentración favorable para la difusión continua.

Este enfoque de extracción en lecho fijo ofrece una metodología interesante para la industria, especialmente considerando la reutilización de subproductos de la vinificación como fuente de compuestos valiosos. Además, el uso de temperaturas elevadas y un flujo optimizado de solvente podría ser adaptado para otras extracciones similares, maximizando la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de extracción de compuestos naturales. [53]

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles son los parámetros ideales para el proceso de extracción de antocianinas de la frambuesa (*Rubus idaeus* L.) que optimizan el rendimiento?

1.5. Justificación e importancia del estudio

En la actualidad, la preferencia por los colorantes naturales está en aumento, motivada por la búsqueda de alternativas seguras a los colorantes sintéticos tales como el Rojo No. 40, cuya utilización en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos ha generado preocupaciones debido a su posible toxicidad. Este cambio en las preferencias del consumidor refleja una mayor conciencia sobre los impactos potenciales de los químicos sintéticos en la salud y el bienestar. Las antocianinas, pigmentos naturales derivados de plantas, emergen como candidatos ideales para sustituir a los colorantes sintéticos. Estos compuestos no solo ofrecen vibrantes tonalidades que van desde el rojo hasta el azul, sino que también aportan beneficios antioxidantes, añadiendo valor nutricional y terapéutico a los productos en los que se utilizan. Para aprovechar eficazmente las antocianinas como colorantes naturales, es crucial entender profundamente sus propiedades bioquímicas. Esto incluye cómo interactúan con otros ingredientes, cómo se afecta su estabilidad bajo diversas condiciones de almacenamiento y procesamiento, y cómo pueden ser extraídas de manera eficiente y sostenible de sus fuentes naturales. Conocer estos aspectos es esencial para desarrollar aplicaciones prácticas que no solo sean seguras y efectivas, sino también económicamente viables y aceptadas por los consumidores.

Las antocianinas, en conjunto con los carotenoides, constituyen las principales clases de pigmentos colorantes en el mundo vegetal, proporcionando colores vivos a una extensa variedad de flores y frutos. Estos compuestos han sido parte de la dieta humana desde tiempos prehistóricos, lo que resalta su importancia no solo estética sino también nutricional. A lo largo de la historia, humanos han aprovechado estas sustancias tanto por sus propiedades colorantes como por sus beneficios para la salud. Estos pigmentos se encuentran distribuidos en numerosas especies vegetales, abarcando desde las bayas comunes hasta vegetales exóticos. Su presencia no se limita a un tipo específico de planta o clima, sino que varían ampliamente a través de diferentes géneros y familias botánicas, lo que las convierte

en candidatas versátiles para diversas aplicaciones culinarias y comerciales. Debido a su extensa disponibilidad y la diversidad de tonos que ofrecen, muchas de estas especies han sido objeto de estudios para su uso en la producción industrial de colorantes naturales. La creciente preferencia por ingredientes naturales y sostenibles ha impulsado la investigación y el desarrollo de métodos para cultivar, extraer y procesar antocianinas de manera eficiente, con el objetivo de utilizarlas ampliamente en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Así, las antocianinas no solo embellecen el entorno natural, sino que también tienen el potencial de mejorar la calidad y la seguridad de los productos que consumimos..

El creciente interés en las antocianinas, que se refleja en un aumento en la investigación científica dedicada a estos pigmentos, se debe no solo a su capacidad para impartir color vibrante a los alimentos y otros productos, sino también a su potencial impacto positivo en la salud humana. Se ha sugerido que las antocianinas podrían desempeñar un papel crucial en la reducción de riesgos asociados con enfermedades coronarias, cáncer y diabetes. Además, se estudian por sus propiedades antiinflamatorias, así como por su potencial para mejorar la agudeza visual y el comportamiento cognitivo. Estas propiedades hacen que las antocianinas sean mucho más que simples colorantes; son compuestos bioactivos que podrían integrarse en productos de valor agregado destinados al consumo humano. Tal potencial convierte a las antocianinas en ingredientes prometedores para la creación de nuevos alimentos funcionales, suplementos y productos farmacéuticos que no solo agradan a la vista, sino que también contribuyen al bienestar general. Sin embargo, la implementación comercial de las antocianinas enfrenta varios desafíos significativos. Uno de los principales es su baja estabilidad, que puede ser influenciada por factores como el pH, la temperatura, la luz y la presencia de oxígeno. Esta sensibilidad complica su uso en productos que no están controlados en términos de condiciones de almacenamiento o que requieren una larga vida útil. Además, otro desafío es la escasez de material vegetal disponible que pueda ser usado económicamente para obtener antocianinas en cantidades industriales. La variabilidad en el contenido de antocianinas entre diferentes cultivos y las complicaciones en su extracción y purificación también limitan su aplicación comercial. Estos obstáculos demandan avances continuos en la investigación y desarrollo tecnológico para mejorar la estabilidad de las antocianinas y desarrollar métodos de producción más eficientes y sostenibles. Esto podría incluir el cultivo de plantas con altos niveles de antocianinas mediante técnicas agrícolas avanzadas, o el desarrollo de métodos de extracción

y formulación que maximicen la retención y la efectividad de estas sustancias en los productos finales. [54]

El proceso de extracción de antocianinas es fundamental en la preservación de la integridad y pureza de los compuestos extraídos. Es esencial que este proceso conserve las características naturales del material vegetal de partida, mientras minimiza el uso de agentes químicos que puedan introducir contaminantes o residuos indeseables en el extracto final. La selección de métodos de extracción que equilibren eficacia y seguridad es vital para garantizar que los productos finales sean tanto efectivos como seguros para el consumo o uso previsto. Además, es imperativo continuar investigando y desarrollando nuevas técnicas de extracción que puedan mejorar los rendimientos y eficiencia de este proceso. Incrementar la eficacia de las técnicas de extracción no solo maximizará la producción, sino que también hará que las tecnologías utilizadas sean más competitivas en el mercado, especialmente en industrias donde la demanda de colorantes naturales está en aumento, como en los sectores alimentario, cosmético y farmacéutico. Además de la importancia del pH, que debe ser cuidadosamente controlado para mantener la estabilidad de las antocianinas durante la extracción, otros factores críticos incluyen la concentración de las soluciones utilizadas, el tipo de solvente seleccionado, la temperatura del proceso, la estructura molecular específica de las antocianinas involucradas y la presencia de otras sustancias en el material de origen que podrían interactuar con las antocianinas. Cada uno de estos factores puede tener un impacto significativo en la efectividad de la extracción y en las características del color del extracto resultante:

- Concentración: La relación entre el material vegetal y el solvente debe ser optimizada para asegurar una extracción completa sin diluir excesivamente los compuestos de interés.
- Tipo de solvente: La elección del solvente afecta tanto la eficiencia de la extracción como la seguridad del proceso. Solventes menos tóxicos y más eficientes en la extracción de antocianinas, como el etanol, son preferidos sobre otros más agresivos o tóxicos.

- Temperatura: Las temperaturas más altas pueden facilitar una extracción más rápida, pero también corren el riesgo de degradar los pigmentos sensibles al calor. Encontrar la temperatura óptima es crucial para maximizar el rendimiento sin comprometer la calidad del extracto.
- Estructura del pigmento: La variabilidad en la estructura química de las antocianinas puede requerir ajustes específicos en el método de extracción para adaptarse a las propiedades particulares de cada tipo de antocianina.

La presencia de compuestos reactivos en el material de origen es un factor crucial que puede influir significativamente en la estabilidad y el color de las antocianinas durante el proceso de extracción. Ácidos, bases y, especialmente, iones metálicos, pueden interactuar con las antocianinas, potencialmente alterando su estructura química y afectando su estabilidad y apariencia visual. Por lo tanto, es fundamental evaluar y controlar estos componentes en el material de origen para optimizar los procesos de extracción y asegurar la calidad del extracto final.

Por otro lado, la utilización de colorantes en la industria alimentaria ha sido un tema de considerable debate. Aunque su uso está justificado principalmente por la demanda de los consumidores, que suelen ser atraídos por la apariencia visual de los alimentos, la seguridad de estos aditivos ha sido cuestionada. Toxicológicamente, diversos estudios han evaluado los posibles efectos adversos de los colorantes artificiales en la salud humana. Estos estudios han revelado que no todos los colorantes artificiales son completamente seguros y que algunos pueden provocar reacciones adversas en ciertos individuos.

Estas preocupaciones han llevado a un incremento en las investigaciones científicas sobre los colorantes artificiales, con un enfoque particular en sus impactos potenciales sobre la salud. La demanda de alternativas naturales como las antocianinas sigue creciendo, no solo debido a sus propiedades colorantes, sino también por su perfil más seguro y sus beneficios adicionales para la salud, como propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. A medida que aumenta la conciencia sobre los posibles riesgos de los colorantes artificiales, más fabricantes y consumidores se inclinan hacia opciones más naturales y seguras en la formulación de productos alimenticios.

1.6. Hipótesis

HI: Los parámetros óptimos de extracción de antocianinas, que incluyen una concentración de solvente (etanol) del 50%, un tiempo de extracción de 60 minutos y una temperatura de 30°C, resultan en un mayor contenido de antocianinas de frambuesa (*Rubus idaeus L.*).

HO: Las variables de concentración de solvente (etanol), tiempo y temperatura no tienen un impacto estadísticamente significativo en el rendimiento de las antocianinas extraídas de la frambuesa (*Rubus idaeus L.*).

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Caracterizar el proceso de extracción de antocianinas de la frambuesa (*Rubus idaeus L.*).

1.7.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente la materia prima.
- Evaluar el impacto de la temperatura, el tiempo y el tipo de solvente en el proceso de extracción de antocianinas de la frambuesa (*Rubus idaeus L.*).

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

2.1.1. Tipo

Este estudio se basó en un enfoque metodológico explicativo y aplicativo, diseñado con el propósito de investigar y comprender las causas fundamentales de los fenómenos estudiados. A través de este método, se buscó no solo identificar, sino también explicar de manera detallada las conexiones y las relaciones causales entre las variables dependientes e independientes involucradas en la investigación. Este enfoque permitió no solo observar los efectos y los resultados de las interacciones entre variables, sino también profundizar en cómo y por qué ocurren estos efectos bajo ciertas condiciones. Al desentrañar las dinámicas subyacentes que impulsan los fenómenos observados, el estudio proporciona una base sólida para aplicaciones prácticas y recomendaciones específicas. Así, los hallazgos no sólo contribuyen al conocimiento teórico, sino que también ofrecen insights prácticos que pueden ser aplicados para optimizar procesos, mejorar prácticas o formular políticas en

campos relevantes. Este tipo de metodología es crucial para avanzar en la comprensión científica y en la aplicación efectiva de nuevas soluciones y estrategias en contextos reales.

2.1.2. Diseño de investigación

Este estudio adoptó un diseño experimental, que se caracteriza por su enfoque en el manejo y manipulación de variables cuantificables. Dicho enfoque permitió a los investigadores llevar a cabo pruebas bajo condiciones controladas en un entorno de laboratorio, donde las variables independientes fueron ajustadas de manera precisa para observar su efecto directo sobre las variables dependientes. El control riguroso de las variables independientes en este tipo de diseño experimental es fundamental para minimizar las interferencias externas y asegurar que los resultados obtenidos sean atribuibles únicamente a los factores experimentales manipulados. Esto es esencial para generar datos confiables y replicables, que puedan ser interpretados con claridad en términos de relaciones causales. Además, el ambiente de laboratorio proporciona un contexto ideal para este tipo de investigaciones, ya que permite a los investigadores crear condiciones estandarizadas y repetibles. Esto no solo mejora la validez de los resultados, sino que también facilita la comparación de los datos entre diferentes sets de experimentos o incluso con estudios similares realizados por otros investigadores.

2.1.3. Método de la Investigación

El enfoque metodológico adoptado en este estudio fue el de investigación aplicada, que se centra en la resolución de problemas específicos con el objetivo de generar soluciones concretas y directamente aplicables. Este tipo de investigación es particularmente valiosa cuando se busca desarrollar técnicas o procedimientos que puedan ser implementados rápidamente en escenarios prácticos, como es el caso del estudio sobre el proceso de extracción de antocianinas de la frambuesa (*Rubus idaeus* L.). Este método no solo permite a los investigadores abordar cuestiones técnicas específicas, sino que también asegura que los resultados obtenidos tengan una relevancia inmediata para la industria o el campo de aplicación en cuestión. En el caso del estudio de la extracción de antocianinas, el objetivo era optimizar un proceso que pudiera ser utilizado por la industria alimentaria y farmacéutica para mejorar la eficacia y eficiencia en la obtención de estos valiosos pigmentos naturales.

Además, la investigación aplicada en este contexto contribuye a un entendimiento más profundo de las variables y condiciones que influyen en la eficacia de la extracción, lo que a su vez puede guiar futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos. Al centrarse en aplicaciones prácticas y resultados tangibles, este tipo de investigación desempeña un papel crucial en el puente entre la teoría científica y su implementación práctica, beneficiando así tanto a la ciencia como a la sociedad.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Las frambuesas empleadas en el estudio provinieron de cultivos en Trujillo, destacando un enfoque en fomentar su producción con un enfoque hacia la exportación. Este detalle no solo subraya la capacidad de la región para producir frambuesas de calidad, sino que también enfatiza el potencial económico de estos cultivos en mercados internacionales. Al centrarse en la exportación, se busca no solo aumentar la rentabilidad para los productores locales, sino también mejorar el reconocimiento de Trujillo como un centro agrícola capaz de cumplir con estándares internacionales de calidad y sostenibilidad.

2.2.2. Muestra

Para el estudio, se emplearon aproximadamente 2.500 kg de frambuesas, las cuales se manejaron con cuidado para preservar su calidad y minimizar el deterioro postcosecha, un factor crítico en la investigación agrícola y alimentaria. Siguiendo el diseño experimental del estudio, se tomaron medidas meticulosas para el almacenamiento y manejo de los frutos. Las frambuesas fueron cuidadosamente colocadas en bandejas de tecnopor, un material elegido por su ligereza y por proporcionar una protección adecuada durante el almacenamiento y el transporte. Además, para asegurar que los frutos se mantuvieran en óptimas condiciones hasta su uso en los experimentos, se controló estrictamente la temperatura de almacenamiento. Los frutos se mantuvieron a una temperatura constante de 3 ± 0.5 °C, y para mayor precaución, fueron almacenados en una cámara de refrigeración que mantenía una temperatura aún más baja de 0 ± 0.5 °C en el laboratorio. Este control riguroso

de la temperatura es esencial para ralentizar los procesos biológicos que pueden llevar a la degradación de los frutos y afectar los resultados experimentales. Estas prácticas demuestran un enfoque cuidadoso y metodológico para preservar la integridad de las frambuesas utilizadas en la investigación.

2.3. Variables, Operacionalización

- a. Caracterizar fisicoquímicamente la materia prima

2.3.1. Variables independientes

- Materia prima (Frambuesa)

2.3.2. Variables dependientes

- Características fisicoquímicas

- b. Evaluar el efecto de temperatura, tiempo y tipo de solvente en el proceso de extracción de antocianinas.

2.3.3. Variables independientes

- Tiempo de extracción: entre 30 y 60 minutos.
- Temperatura de extracción: entre 40 y 70 °C.
- Solvente utilizado: mezcla de etanol y metanol.

2.3.4. Variables dependientes

- Concentración de antocianinas en mg por 100 g de frambuesa.
- Parámetros de color, incluyendo luminosidad (L) y cromaticidad (a y b).
-

2.3.5. Operacionalización de Variables

En la tabla 1 se detalla la operacionalización de las variables independientes y dependientes para el primer objetivo del estudio.

Tabla 1
Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de Recolección de datos
Materia prima (Frambuesa)	500	Gramos	Gravimetría
Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de Recolección de datos
Características Fisicoquímicas	Humedad	Porcentaje	AOAC Refractométrico
	Sólidos solubles	°Brix	Potenciométrico
	pH	-	Potenciométrico
	Acidez	Porcentaje	AOAC
	Cenizas	Porcentaje	Método Kjeldahl
	Proteínas	Porcentaje	Diferencia
	Carbohidratos	Porcentaje	Método Soxhlet
	Grasas	Porcentaje	Digestión con ácido sulfúrico
	Fibra	Porcentaje	Atwater
	Valor Calórico	Kcal	Atwater
	Valor Nutritivo	Kcal	Atwater

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se indican la operacionalización de variables dependientes e independientes para el segundo objetivo de la presente investigación

Tabla 2
Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de
Tiempo de extracción	30 - 60	minutos	Termometría
Temperatura de extracción	40 – 70	°C	Cronometría
Tipo de solvente	Etanol, metanol	-	
Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de Recolección de datos
Rendimiento	Contenido antocianinas	mg/ 100 g frambuesa	Método espectrofotométrico
Parámetros de color	Luminosidad Cromacidad	0-100% a, b	Colorímetro

Fuente: Elaboración Propia

2.3.4. Matriz de Experimentos

Para la investigación en la extracción de antocianinas, se utilizó el software DESIGN EXPERT 7.0 para configurar la matriz experimental. Esta herramienta es fundamental en la planificación y ejecución de diseños experimentales sofisticados, permitiendo a los investigadores explorar eficazmente las interacciones entre múltiples variables. En este caso, las variables independientes seleccionadas fueron la temperatura, el tiempo y el tipo de solvente, todas meticulosamente detalladas en la Tabla 3 y visualizadas en la Figura 4 del estudio.

El diseño seleccionado fue un diseño D-Óptimo, conocido por su eficiencia en la optimización de los experimentos. Las características clave de este diseño incluyen:

- Tipo de diseño - Superficie de respuesta: Este enfoque se emplea para modelar y analizar problemas en los que una respuesta de interés es influenciada por varias variables independientes. El objetivo es optimizar esta respuesta y entender la relación entre las variables. Es particularmente útil en contextos donde los resultados dependen de manera compleja de varios factores, como es el caso de la extracción de compuestos químicos.

- Diseño experimental - Diseño D-Óptimo: Este diseño es altamente eficiente para explorar relaciones cuadráticas y maximizar la información estadística obtenida de los datos experimentales. Permite a los investigadores formular un modelo que abarca interacciones complejas con un número mínimo de experimentos, lo que ahorra tiempo y recursos mientras proporciona datos de alta calidad.

- Tipo de modelo - Cuadrático: El modelo cuadrático es ideal para describir curvas y superficies de respuesta que tienen un pico o un valle, lo cual es común en estudios de optimización de procesos como la extracción de antocianinas. Este tipo de modelo puede capturar la forma en que las variables como la temperatura y el tiempo afectan de manera no lineal la eficacia de la extracción, proporcionando una comprensión más profunda de los puntos óptimos y las condiciones límite.

Utilizar este enfoque avanzado en el diseño experimental asegura que los resultados son robustos y confiables, facilitando decisiones informadas sobre cómo maximizar la extracción de antocianinas mientras se ajustan los parámetros críticos. Además, la capacidad de predecir los resultados bajo diferentes condiciones experimentales permite a los investigadores optimizar los procesos con mayor precisión y eficiencia.

Matriz de experimentos

File Edit View Display Options Design Tools Help							
Notes for Diseño experime	Std	Run	Block	Factor 1 A:Tiempo min	Factor 2 B:Tempertura °C	Factor 3 C:Solvente	
Design (Actual)	2	1	Block 1	30.00	40.00	Etanol	
Summary							
Graph Columns							
Evaluation	14	2	Block 1	30.00	55.00	Etanol	
Analysis	5	3	Block 1	30.00	70.00	Etanol	
Rendimiento (Empty)	11	4	Block 1	30.00	40.00	Metanol	
Limiosidad (Empty)	9	5	Block 1	30.00	55.00	Metanol	
Cromacidad (Empty)	13	6	Block 1	30.00	70.00	Metanol	
Cromasidad (Empty)	12	7	Block 1	45.00	40.00	Etanol	
Optimization	6	8	Block 1	45.00	55.00	Etanol	
Numerical	10	9	Block 1	45.00	47.50	Metanol	
Graphical	1	10	Block 1	45.00	70.00	Metanol	
Point Prediction	3	11	Block 1	60.00	40.00	Etanol	
	4	12	Block 1	60.00	70.00	Etanol	
	7	13	Block 1	60.00	40.00	Metanol	
	8	14	Block 1	60.00	70.00	Metanol	

Figura 4 Muestra la matriz de experimentos

Fuente: Elaboración propia

Nota: La matriz de experimento se realizó con el software DESIGN EXPERT 7.0

Tabla 3
Factores de la investigación

Factor	Nombre	Unidades	Tipo	Valor mínimo	Valor máximo
A	Tiempo de extracción	°C	Numérico	30	60
B	Temperatura de extracción	minutos	Numérico	40	70
C	Tipo de solvente	-	Categórico	Etanol	Metanol

Fuente: Elaboración propia.

2.3.5. Respuestas de los experimentos

Los resultados obtenidos en los experimentos, que se consideran como variables dependientes, están debidamente establecidos y operacionalizados con sus correspondientes unidades de medida, tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4
Respuestas de los experimentos

Respuesta	Nombre	Unidades
Y1	Rendimiento	mg antocianina/ 100 g frambuesa
Y2	Luminosidad	
Y3	Cromacidad	

Fuente: Elaboración propia.

2.3.6. Experimentos de la investigación

En la Tabla 5, se presentan los experimentos clasificados según la escala de los factores seleccionados para el estudio.

Tabla 5
Experimentos de la investigación

Run	A:Tiempo min	B:Tempertura °C	C:Solvente
1	30	40	Etanol
2	30	55	Etanol
3	30	70	Etanol
4	30	40	Metanol
5	30	55	Metanol
6	30	70	Metanol
7	45	40	Etanol
8	45	55	Etanol
9	45	47.5	Metanol
10	45	70	Metanol
11	60	40	Etanol
12	60	70	Etanol
13	60	40	Metanol
14	60	70	Metanol

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Materiales, equipos y reactivos

Materiales

- Tubos de ensayo con tapa de 100x10 mm
- Condensador de bolas
- Embudo Buchner
- Matraz doble boca fondo redondo de 100 ml.
- Matraz Kitosato de 500ml.

- Mortero
- Vasos de precipitados de 500ml.
- Papel filtro Whatman N°1
- Papel aluminio
- Probeta de 100ml.
- Pipeta de 10ml.
- Pera de jebes de 3 válvulas para pipetear
- Micro pipetas
- Termómetro
- Soporte universal de laboratorio
- Crisol
- Bureta
- Gradilla
- Cuchara
- Mangueras
- Barra magnética
- Agua destilada

Equipo

- Balanza analítica
Modelo: FX-200i Serie
Capacidad: 220 gr.
Resolución: 0.001 gr.
- Refractómetro
Modelo: RHBO80
Rango de medición: 0-50%
Brix Resolución: 1% °Brix
- Espectrofotómetro
Marca: Único

Modelo: S-2100UV+

Rango longitud de onda: 200 a 1000 nm

Pantalla: Digital LCD

- Bomba de vacío

Modelo: Microsart

Marca: SARTORIUS

Flujo volumétrico: 6 L/min

Presión: 700 mbar

- Calentador y agitador magnético

Modelo: 124801 VELP SCIENTIFICA

Temperatura: hasta aprox. 500°C

Velocidad de rotación: 60 RPM hasta aprox. 1200 RPM.

- Colorímetro Konica Minolta

Modelo: CR-410

- Refrigeradora

Marca: Samsung

Modelo: RA21

Temperatura de congelación: hasta -18°C

Alimentación de corriente: 220V/60Hz

- pHmetro

Reactivos

- Etanol
- Metanol
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Cloruro de potasio (KCl)
- Ácido acético (CH₃COOH)
- Acetato de sodio (CH₃COONa)

- Fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄)
- Hidróxido de sodio (NaOH)

2.4.2 Caracterización fisicoquímica de frambuesa.

a. Determinación de humedad.

En el estudio, se adoptó el método 934.06 (37.1.10) descrito en el manual [55], un procedimiento establecido específicamente para el análisis de frutas con elevadas concentraciones de azúcares. Este método es especialmente adecuado para este tipo de análisis debido a su capacidad para manejar y cuantificar de manera precisa los azúcares en matrices ricas en estos componentes, lo que es crucial para obtener resultados fiables y exactos. La selección de este método permite a los investigadores asegurar la precisión en la cuantificación de los azúcares, lo que es fundamental para evaluar el valor nutricional de las frutas y entender su comportamiento en diversas aplicaciones alimentarias. Además, este método contribuye a la estandarización del proceso de análisis, garantizando que los datos obtenidos sean comparables y reproducibles, independientemente de quién realice el análisis o dónde se realice. Además de identificar y cuantificar los azúcares, el uso de un método diseñado para frutas con alto contenido de estos compuestos asegura que los posibles efectos de los azúcares en otros análisis, como la extracción de pigmentos o la evaluación de conservantes, sean adecuadamente considerados y controlados. Esto es esencial para ajustar técnicas de procesamiento y preservación que puedan ser influenciadas por la presencia y la concentración de azúcares en las frutas.

b. Determinación de sólidos solubles.

La determinación de sólidos solubles en las muestras de frambuesa se llevó a cabo mediante el uso del método refractométrico, siguiendo las directrices establecidas en la norma AOAC 932.12. Este método es ampliamente reconocido por su precisión y fiabilidad en la medición de sólidos solubles, que son un indicador clave del contenido de azúcares y otros compuestos solubles en las frutas. El método refractométrico consiste en medir el índice de refracción de una solución, el cual se correlaciona directamente con la concentración de sólidos solubles presentes. Esta técnica es especialmente útil para analizar frutas con altos contenidos de azúcar, como las frambuesas, ya que permite obtener resultados rápidos y precisos con una mínima preparación de muestra.

c. Determinación de pH por el método potenciométrico.

Para la evaluación de ciertos parámetros en las frambuesas, se empleó el método potenciométrico AOAC 981.12, conforme a lo especificado en la referencia [55]. Este método es reconocido por su precisión y fiabilidad en la medición de parámetros químicos específicos, utilizando un potenciómetro para determinar la concentración de iones en una solución. El uso del método potenciométrico AOAC 981.12 implica la medición del potencial eléctrico de una solución para determinar la concentración de iones específicos, como el pH o la acidez, que son cruciales para entender las propiedades químicas y la estabilidad de los compuestos presentes en las frambuesas. [55].

d. Determinación de Acidez.

El análisis se llevó a cabo mediante titulación potenciométrica utilizando una solución de NaOH 0,1 N, y los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de ácido cítrico, conforme a la referencia [55]. Este método es ampliamente utilizado para determinar la acidez total en muestras de alimentos y proporciona una medida precisa del contenido ácido, que es fundamental para evaluar la calidad y estabilidad de los productos. [55].

e. Determinación de cenizas.

La determinación del contenido de cenizas se llevó a cabo utilizando el método descrito en la AOAC, tal como se referencia en [55]. Este procedimiento estandarizado es esencial para evaluar la composición mineral de las muestras de frambuesa, proporcionando una medida del total de minerales presentes después de la combustión de la materia orgánica.[55].

f. Determinación de proteínas

La determinación del contenido de proteínas en las muestras de frambuesa se llevó a cabo utilizando el método semimicro Kjeldahl, conforme a la normativa AOAC. Este método es un procedimiento ampliamente reconocido y utilizado para la cuantificación precisa del contenido de nitrógeno, que se convierte en una medida indirecta del contenido de proteínas en las muestras. [55].

g. Determinación de carbohidratos

La determinación del contenido de carbohidratos en las muestras de frambuesa se realizó utilizando un método indirecto basado en la diferencia, conforme a lo establecido en la normativa AOAC. Este método calcula el porcentaje de carbohidratos restantes después de considerar otros componentes principales de la muestra.[55].

h. Determinación de grasas

La determinación del contenido de grasas en las muestras de frambuesa se llevó a cabo mediante el método de extracción Soxhlet, un procedimiento estándar ampliamente reconocido por su eficacia en la cuantificación de lípidos.

i. Determinación de fibra

La determinación del contenido de fibra se realizó siguiendo un proceso de digestión ácida utilizando ácido sulfúrico, de acuerdo con los procedimientos establecidos por la AOAC [55]. Este método implica la descomposición de la muestra mediante el tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, lo que permite la separación y cuantificación precisa de la fibra presente en el material analizado. La metodología empleada asegura la exactitud y consistencia de los resultados, cumpliendo con los estándares internacionales para la evaluación de la fibra dietética en alimentos.[55].

j. Determinación del valor calórico

Este método implica calcular el contenido calórico total de un alimento a partir de la suma de los aportes energéticos individuales de proteínas, grasas y carbohidratos, según factores de conversión específicos. Los factores de Atwater asignan 4 kcal por gramo de proteínas y carbohidratos, y 9 kcal por gramo de grasas. Esta técnica proporciona una estimación precisa del valor energético disponible en los alimentos, lo que es crucial para el análisis nutricional y la formulación de dietas equilibradas.

k. Determinación del valor nutritivo

Este método consiste en calcular el valor energético de un alimento basándose en el contenido de macronutrientes, específicamente proteínas, grasas y carbohidratos, y aplicando factores de conversión específicos. Según el método de Atwater, se asignan 4 kcal por gramo de proteínas y carbohidratos, y 9 kcal por gramo de grasas. Esta técnica permite

estimar con precisión el aporte calórico total de los alimentos, proporcionando una medida esencial para evaluar su valor nutritivo y su adecuación en la dieta.

2.4.3. Proceso de extracción de antocianinas.

a. Recepción de los frutos: Los frutos fueron entregados en bandejas de tecnopor diseñadas para minimizar el impacto físico durante el transporte, garantizando que los frutos llegaran en óptimas condiciones y sin golpes que pudieran afectar su integridad.

b. Selección de frutos: Durante el proceso de selección, se priorizó la elección de frutos que estuvieran libres de daños físicos o defectos en su tejido, asegurando así la calidad del material que sería utilizado en los experimentos subsiguientes.

c. Proceso de congelación: Los frutos seleccionados fueron congelados rápidamente a una temperatura controlada de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para esto, se emplearon bolsas de polietileno que facilitan la conservación del frío y protegen a los frutos de cualquier contaminación externa.

d. Pesaje de las muestras: Se pesaron meticulosamente 5 gramos de frambuesa utilizando una balanza analítica de alta precisión, con el fin de asegurar la exactitud en las proporciones requeridas para los análisis posteriores.

e. Trituración de las frambuesas: Las frambuesas fueron cuidadosamente trituradas en un mortero para descomponer su estructura física, lo cual facilita la extracción de compuestos bioactivos en fases subsiguientes del análisis.

f. Extracción de antocianinas: La extracción de antocianinas se llevó a cabo mediante un meticuloso proceso sólido-líquido, donde se controlaron variables críticas como el tiempo, la temperatura y el tipo de solvente. Este procedimiento se ajustó según los distintos tratamientos previamente establecidos para optimizar la recuperación de estos compuestos.

La extracción sólido-líquido se llevó a cabo utilizando un sistema de destilación a reflujo. Este sistema estaba compuesto por un matraz de fondo redondo con doble boca, una cocina eléctrica de laboratorio, una barra magnética y un condensador de bolas. El volumen de extracción utilizado fue de 50 ml, utilizando soluciones de metanol destilada (10:40 v/v) y etanol destilada (10:40 v/v) para la extracción.

a. Filtración: Para remover los sólidos insolubles del extracto de antocianinas, se filtró la mezcla utilizando papel filtro Whatman N°1. El equipo de filtración al vacío estuvo compuesto por un embudo Buchner, un matraz Kitasato de 500 ml y una bomba de vacío.

b. Cuantificación: Se determinó la concentración de antocianinas utilizando el método del pH diferencial.

Diagrama de flujo

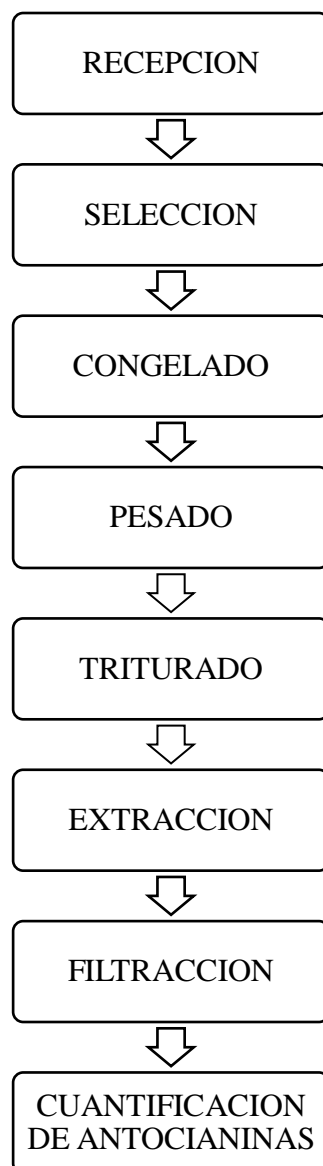


Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de extracción de antocianinas.

Fuente: Elaboración propia

2.4.4. Cuantificación de antocianinas totales.

Para la disolución de los extractos de antocianinas, se utilizaron dos diferentes sistemas de soluciones tampón. El primero consistió en una mezcla de ácido clorhídrico y cloruro de potasio, ajustada a un pH de 1.0 con una concentración de 0.025M. El segundo sistema empleó una combinación de ácido acético y acetato de sodio, ajustado a un pH de 4.5 con una concentración de 0.4M. A cada muestra de 0.3 ml se le adicionaron 2.7 ml del tampón correspondiente. Posteriormente, la absorbancia de estas soluciones se midió utilizando un espectrofotómetro, específicamente a las longitudes de onda de 510 nm y 700 nm, con el fin de evaluar la presencia y concentración de antocianinas en las muestras.

La absorbancia total se calculó usando la siguiente fórmula:

$$A = (A_{510\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH\ 1} - (A_{510\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH\ 4.5}$$

La concentración del pigmento manométrico en el extracto se expresó en cianidina 3-glucosido.

$$\text{Antocianos monometrico } \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g de frambuesa}} \right) = \frac{A \cdot PM \cdot 100}{l \cdot \epsilon}$$

Donde A es la absorbancia total. El PM el peso molecular (449.2 g/gmol), la ϵ es la absortividad molar (26900cm⁻¹mol⁻¹), ambas de la cianidina 3-glucido y l es la longitud de paso de luz de la celda (1 cm) [56].

2.4.5. Índice de color.

Para la medición del color de las muestras, se empleó un colorímetro de la marca Konica Minolta, modelo CR-410. Este instrumento proporciona lecturas precisas de color, reportando los valores en términos de Luminosidad (L*), que indica claridad u oscuridad, y cromacidad, que comprende los valores de a* (rojo-verde) y b* (azul-amarillo), según la escala CIELAB, un modelo de color estandarizado ampliamente utilizado en la industria.

Antes de proceder con las mediciones, fue esencial calibrar el colorímetro para garantizar la precisión de los datos. Para esta calibración, se utilizó una cerámica de color blanco provista por Konica Minolta. Esta cerámica sirve como estándar de referencia para ajustar el instrumento, asegurando que las mediciones de color se realicen bajo parámetros constantes y controlados.

Los valores de L, a* y b*, que representan la luminosidad, la cromacidad y el ángulo de tonalidad respectivamente, se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Cromacidad} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

- Disponer la punta del colorímetro en la superficie de la muestra para su lectura.
- Se realizó 3 tomas de lectura de la muestra.
- Luego se realizó la lectura y se procedió a limpiar el colorímetro, retirando cualquier sustancia sea líquida o sólida de la punta de colorímetro.
- Se reportaron los valores de las variables analizadas (L (luminosidad), a* y b* (cromacidad)).

2.4.6. Validación

La validación de los métodos y procedimientos empleados en la investigación se llevó a cabo por un grupo de expertos profesionales en el campo, los cuales cuentan con estudios de postgrado y están debidamente colegiados. Este equipo de especialistas, con amplia experiencia y conocimientos específicos en el área de estudio, aseguró que las técnicas y métodos utilizados fueran rigurosos y cumplieran con los estándares científicos y técnicos requeridos para garantizar la fiabilidad y la validez de los resultados obtenidos en la investigación. Esta validación es crucial para respaldar la integridad y la credibilidad del estudio. **Criterios éticos**

La información necesaria para este estudio se recopiló bajo un consentimiento informado, siguiendo principios éticos kantianos que consideran a los seres humanos como un fin en sí mismos, no meramente como medios para alcanzar un objetivo. Este enfoque garantiza que la información recabada contribuya a la autenticidad del estudio. La investigación es científicamente válida y los resultados se presentarán tal como fueron obtenidos, sin modificaciones, para mantener la integridad y credibilidad del estudio.

Los principios éticos enfatizan la seguridad y protección de la identidad de los participantes. Además, una gestión adecuada de los riesgos permite a los investigadores cumplir con las responsabilidades y obligaciones adquiridas. Al finalizar la investigación, se realizará un análisis comparativo entre los datos recogidos durante el proyecto y los resultados finales, lo cual reforzará la fiabilidad del estudio.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados

En la tabla 06 se presenta la composición fisicoquímica de la frambuesa.

Tabla 6
Composición fisicoquímica de frambuesa

Característica	Cantidad
Humedad (%)	81.95%
Grasa (%)	1.2%
Cenizas (%)	1.0%
Fibra (%)	4.5%
Proteína (%)	3.19%
Carbohidratos (%)	8.16%
Valor Calórico (kcal)	56.92 Kcal
Valor nutritivo	5.14
°Brix	11.5±0.23
Acidez (%)	1.8±0.016
pH	2.64±0.014

Fuente: Laboratorio MICROSERVILAB y elaboración propia.

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para los diferentes tratamientos experimentales.

Tabla 7
Resultados de las variables dependientes según matriz experimental.

		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3
Std	Run	A:Tiempo	B:Tempertura	C:Solvente	Rendimiento	Luminosidad	Cromacidad
		min	°C		mg de cianidina 3-glucosido/100g de frambuesa	L*	
2	1	30	40	Etanol	0,39465031	85,97	0,27
14	2	30	55	Etanol	0,45977596	85,98	0,27
5	3	30	70	Etanol	0,43138786	86	0,2584
11	4	30	40	Metanol	0,56887534	86	0,2429
9	5	30	55	Metanol	0,50096654	85,97	0,2924
13	6	30	70	Metanol	0,55328971	85,98	0,2861
12	7	45	40	Etanol	0,55050657	86,03	0,2425
6	8	45	55	Etanol	0,56386568	85,99	0,2484
10	9	45	47,5	Metanol	0,54939331	85,99	0,3161
1	10	45	70	Metanol	0,49373036	86,07	0,35
3	11	60	40	Etanol	0,3963202	85,96	0,2761
4	12	60	70	Etanol	0,53269442	85,99	0,28
7	13	60	40	Metanol	0,60282974	85,91	0,2856
8	14	60	70	Metanol	0,55607286	85,93	0,2724

Fuente: Design Expert 7.0

En la Tabla 8 se muestra el análisis de varianza para el rendimiento de antocianinas, expresado en mg de cianidina 3-glucósido por cada 100 g de frambuesa. Los resultados indican que no existen variables estadísticamente significativas que afecten el rendimiento, ya que todos los valores de p son mayores a 0.05. Esto sugiere que las variables estudiadas no influyen de manera significativa en la cantidad de antocianinas extraídas.

Tabla 8
Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento de antocianinas.

Source	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrado	Valor F	p-valor Prob > F
Model	0,03298414	8	0,00412302	0,82566218	0.6153
A-Tiempo	0,00303577	1	0,00303577	0,60793404	0.4708
B-Temperatura	9,862E-06	1	9,862E-06	0,00197494	0.9663
C-Solvente	0,01523973	1	0,01523973	3,05185821	0.1411
AB	0,00058594	1	0,00058594	0,11733832	0.7459
AC	0,00015334	1	0,00015334	0,03070712	0.8678
BC	0,00640084	1	0,00640084	1,28181173	0.3089
A^2	0,00493671	1	0,00493671	0,98861046	0.3657
B^2	8,698E-06	1	8,698E-06	0,00174182	0.9683
Residual	0,02496795	5	0,00499359		
Cor Total	0,05795209	13			
R-Squared	0,86916227				

Fuente: Design Expert 7.0

Las ecuaciones 1 y 2, representan el modelo matemático al cual se ajustan los datos, se tiene dos modelos matemáticos ya que hay una variable dependiente categórica (solvente).

Para el solvente Etanol

$$\text{Rendimiento}_{\text{etanol}} = 0,004471416 + 0,017617107 \times \text{Tiempo} + 0,001134899 \times \text{Temperatura} + 3,80363\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 0,000202028 \times \text{Tiempo}^2 - 9,23836\text{E-}06 \times \text{Temperatura}^2$$

Para el solvente Metanol

$$\text{Rendimiento}_{\text{metanol}} = 0,290053684 + 0,017087203 \times \text{Tiempo} - 0,002393281 \times \text{Temperatura} + 3,80363\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 0,000202028 \times \text{Tiempo}^2 - 9,23836\text{E-}06 \times \text{Temperatura}^2$$

En la Figura 6 se ilustra el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el rendimiento de extracción de antocianinas utilizando etanol como solvente. Por otro lado, la Figura 7 revela que el mayor rendimiento se alcanza a una temperatura de 70°C y un tiempo de extracción de 50 minutos. Esto indica que estas condiciones específicas son las más efectivas para optimizar la extracción de antocianinas cuando se utiliza etanol.

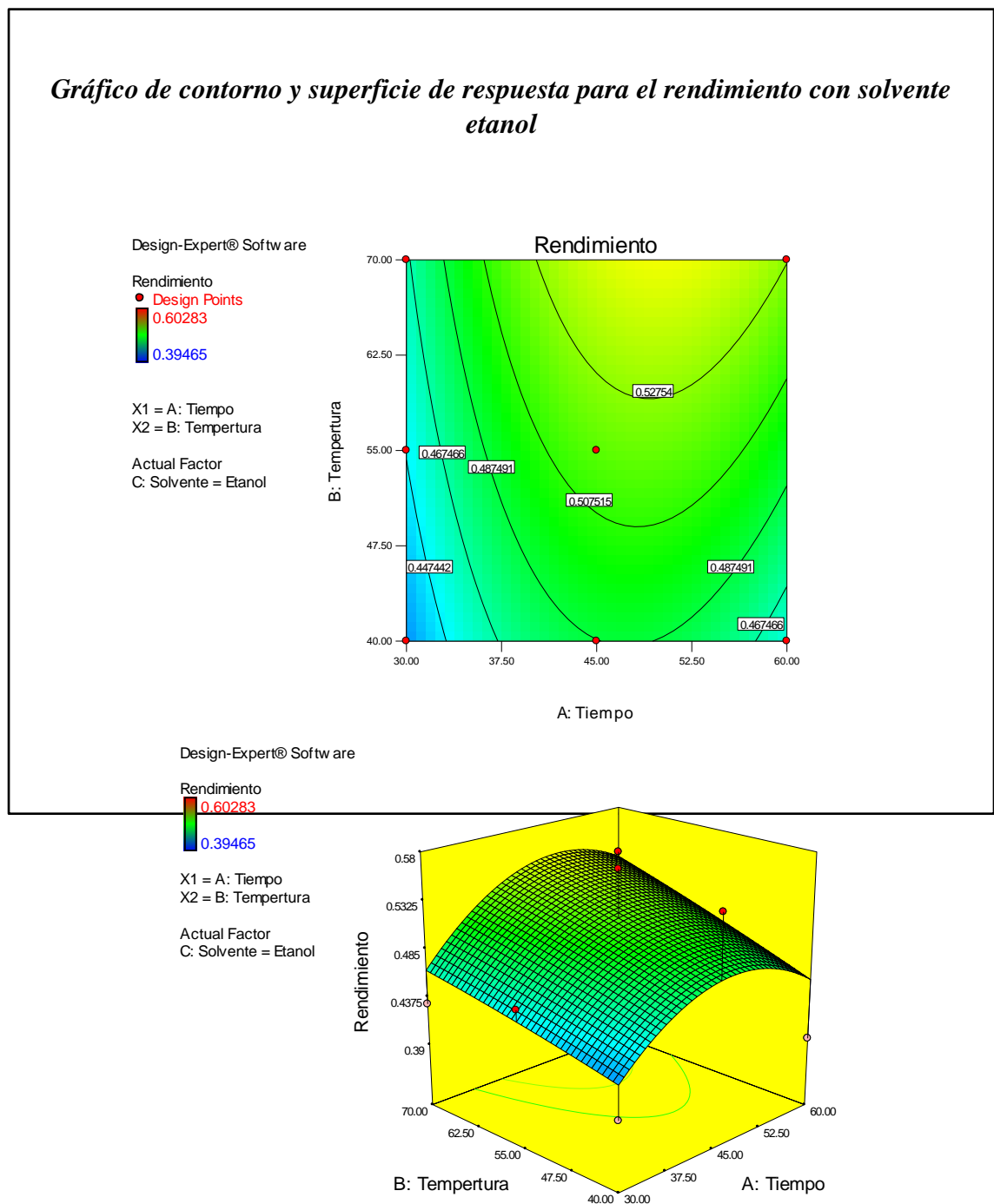
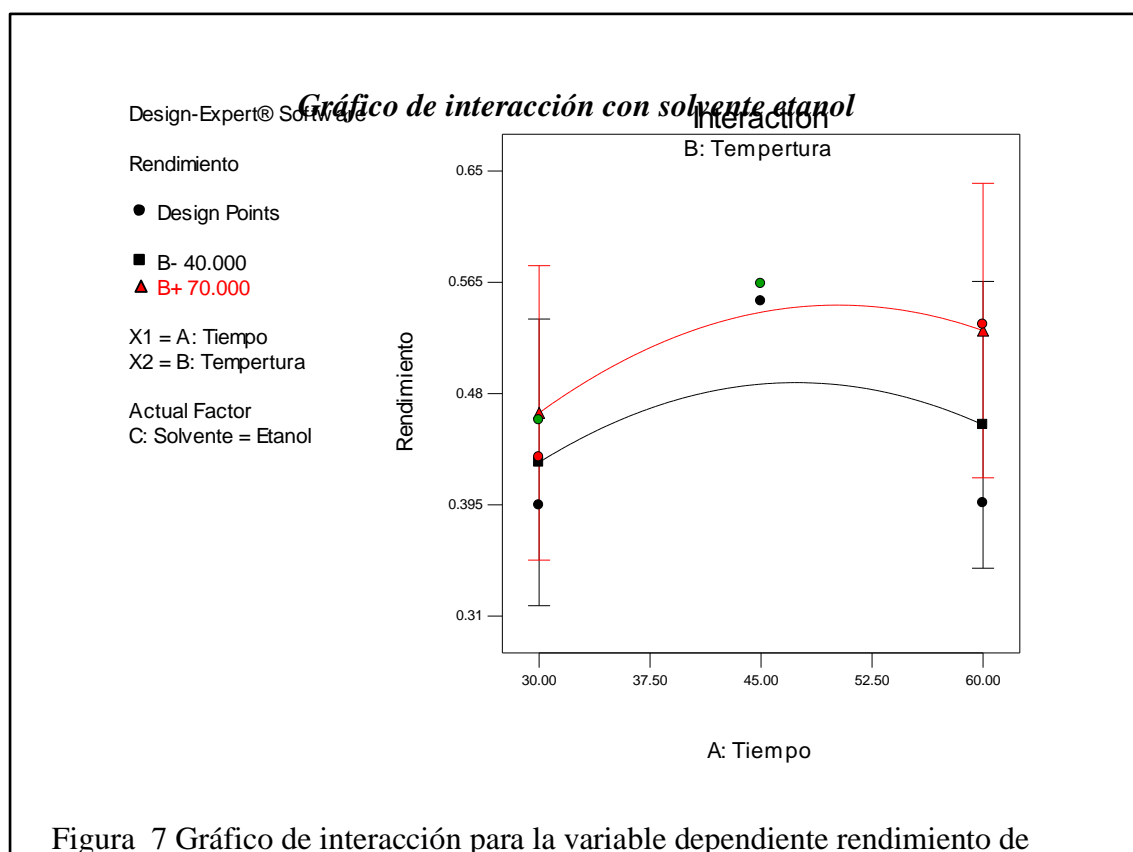


Figura 6 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente etanol

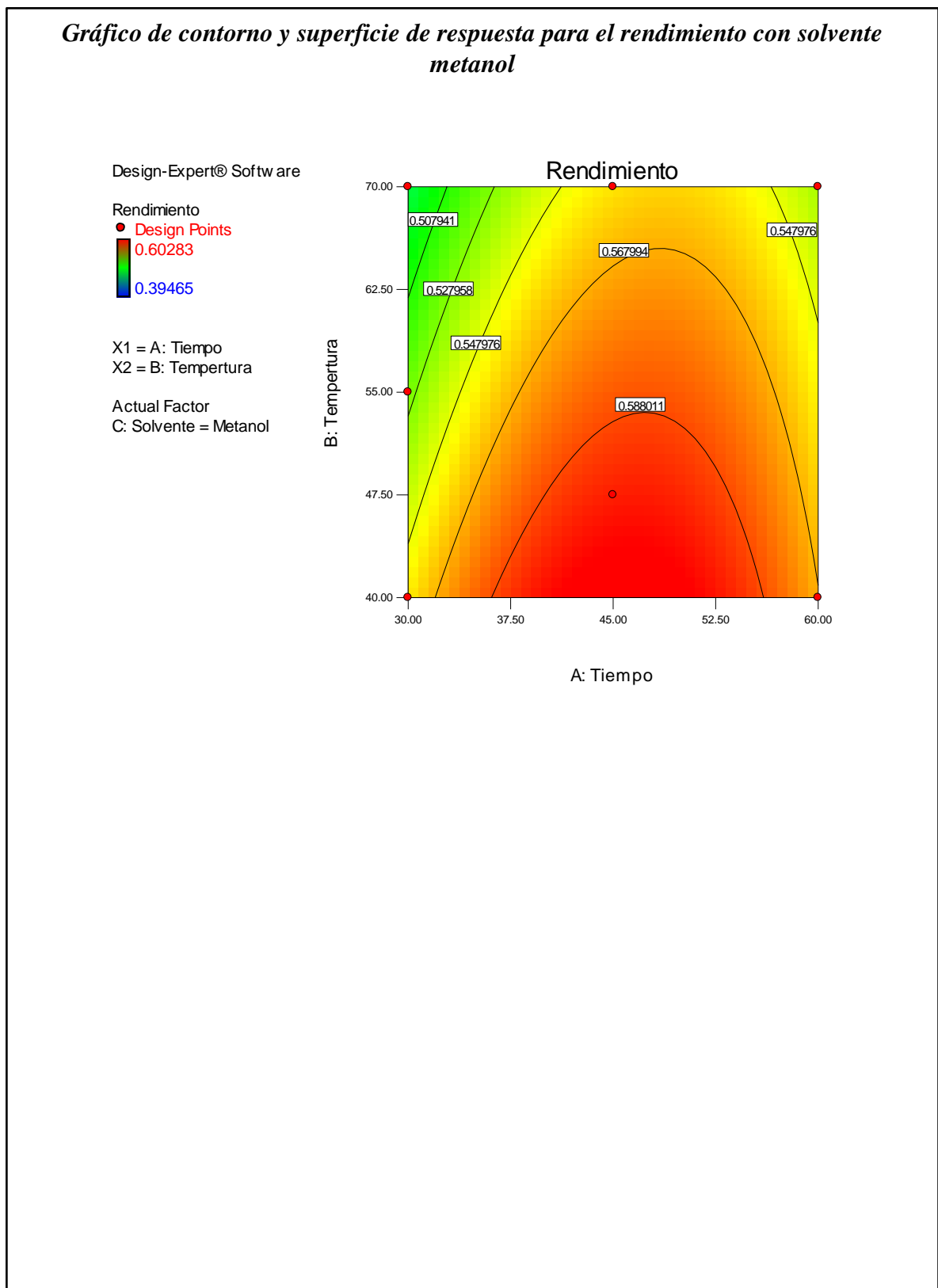
Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 6 se puede apreciar que, a medida que aumenta la temperatura, también lo hace el rendimiento de la extracción, lo cual es evidente en el cambio de color en la superficie de respuesta. La zona amarilla en el gráfico indica un mayor rendimiento, alcanzando un valor de 0.52754, mientras que las áreas azules representan un menor rendimiento, con un valor de 0.447442. Esto demuestra la influencia directa de la temperatura en la eficacia del proceso de extracción.



Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 8 se exhibe el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el rendimiento utilizando metanol como solvente. Según se observa en la Figura 9, el mayor rendimiento se logra a una temperatura de 40°C y un tiempo de extracción de 50 minutos. Esto indica que estas condiciones específicas son óptimas para la extracción de antocianinas cuando se utiliza metanol como solvente, destacando la influencia de la temperatura y el tiempo en la eficiencia del proceso.



Design-Expert® Software

Rendimiento
0.60283
0.39465

X1 = A: Tiempo
X2 = B: Temperatura

Actual Factor
C: Solvente = Metanol

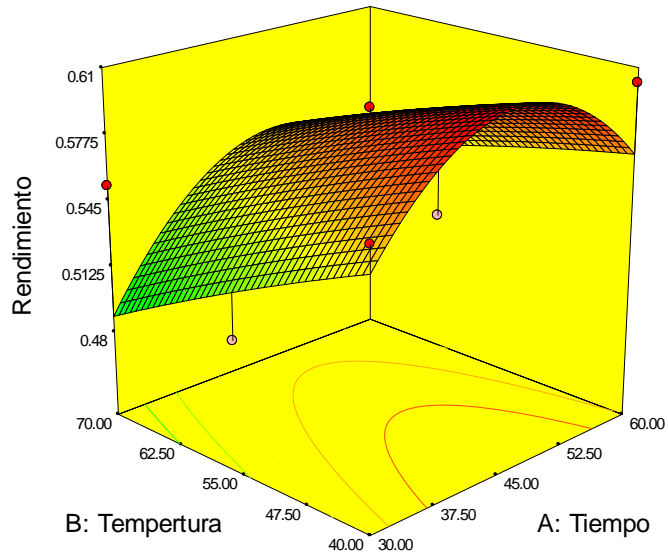


Figura 8 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente metanol

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 8, se observa que la zona roja indica un mayor rendimiento de antocianinas, alcanzando un valor de 0.588011, mientras que las zonas de color verde y amarillo muestran un menor rendimiento. La región que demuestra el mayor rendimiento se encuentra entre temperaturas de 40-47°C y tiempos de extracción de 37-50 minutos. Esto sugiere que estas condiciones específicas son las más eficaces para maximizar la extracción de antocianinas cuando se utiliza metanol como solvente.

Gráfico de interacción con solvente metanol

Design-Expert® Software

Rendimiento

● Design Points
■ B- 40.000
▲ B+ 70.000

X1 = A: Tiempo
X2 = B: Temperatura

Actual Factor
C: Solvente = Metanol

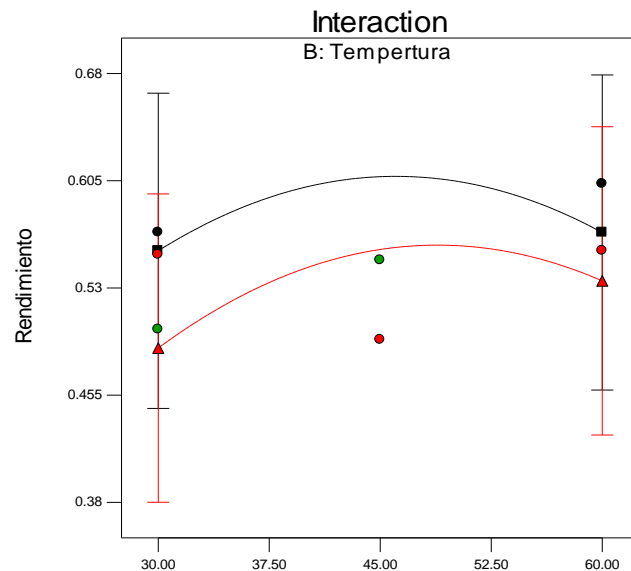


Figura 9 Gráfico de interacción para la variable dependiente rendimiento de antocianina teniendo como solvente metanol.

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 10 se presenta el gráfico de probabilidad normal. La línea recta en el gráfico representa los residuales cuando se ajustan a una distribución normal. Como se puede observar, los residuales de los tratamientos experimentales se ajustan a una distribución normal para la variable dependiente de rendimiento de antocianinas.

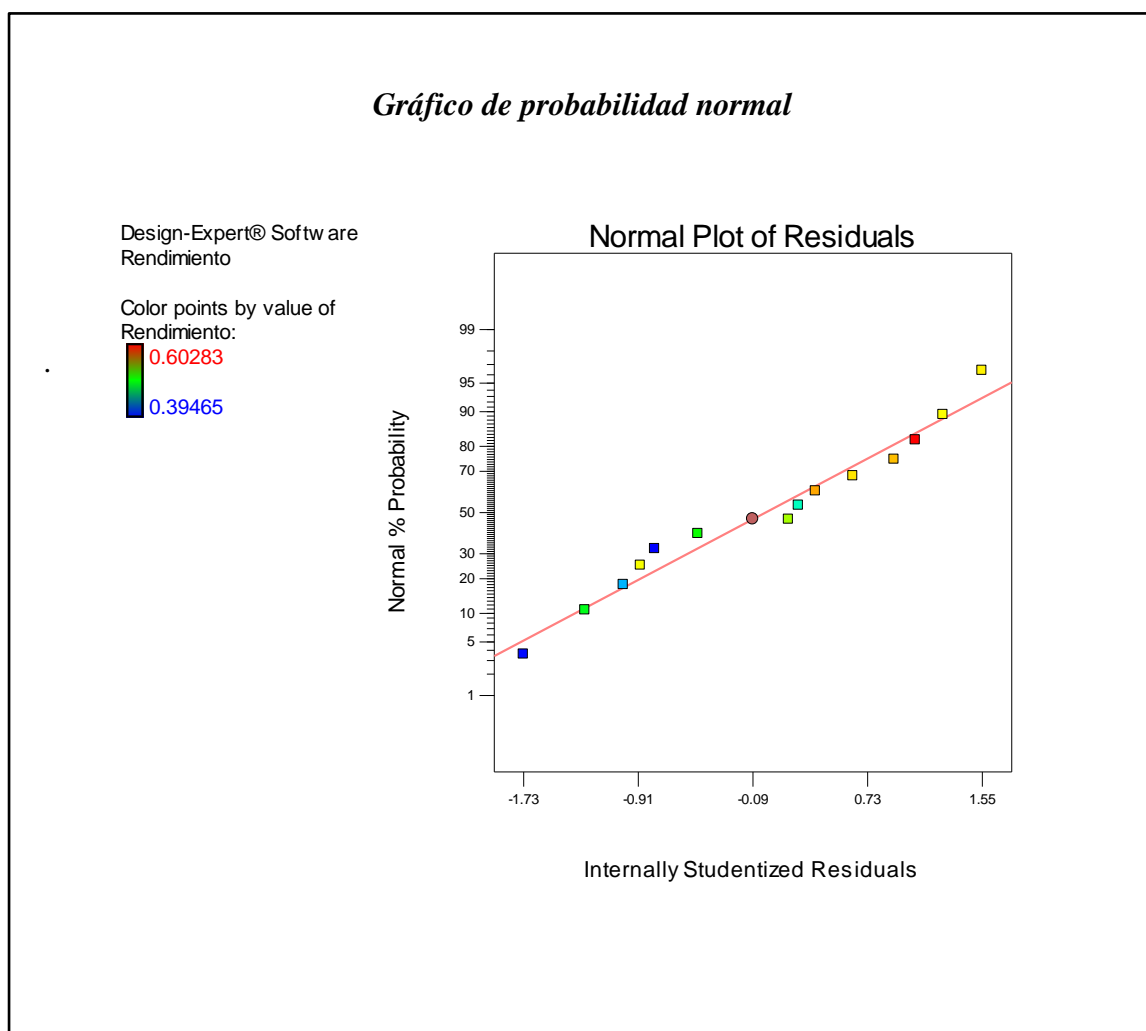


Figura 10 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente rendimiento de antocianina.

Fuente: Design Expert 7.0

En la Tabla 9 se muestra el análisis de varianza para el parámetro de color luminosidad. Como se puede observar, el tiempo es estadísticamente significativo para la luminosidad del extracto de antocianinas, ya que presenta un p-valor menor a 0.05, mientras que las demás variables no son significativas.

Tabla 9
Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento parámetro de color luminosidad

Source	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrado	Valor F	p-valor Prob > F
Model	0,0164534	8	0,00205667	3,35178061	0.0993
A-Tiempo	0,00472201	1	0,00472201	7,69550622	0.0392
B-Temperatura	0,0014878	1	0,0014878	2,42468218	0.1802
C-Solvente	0,00104236	1	0,00104236	1,69874949	0.2492
AB	0,0002	1	0,0002	0,32594177	0.5928
AC	0,00158319	1	0,00158319	2,58013462	0.1691
BC	8,7309E-05	1	8,7309E-05	0,14228804	0.7215
A^2	0,01056723	1	0,01056723	17,2215083	0.0089
B^2	0,00234212	1	0,00234212	3,81697158	0.1082

Residual	0,00306803	5	0,00061361
Cor Total	0,01952143	13	
R-Squared	0,8428377		

Fuente: Design Expert 7.0

Las ecuaciones 3 y 4, representan el modelo matemático al cual se ajustan los datos, se tiene dos modelos matemáticos ya que hay una variable dependiente categórica (solvente).

Para el solvente Etanol

$$\text{Luminosidad}_{\text{Etanol}} = 85,9038067 + 0,02465783 \times \text{Tiempo} - 0,01665625 \times \text{Temperatura} + 2,2222\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 0,00029558 \times \text{Tiempo}^2 + 0,0001516 \times \text{Temperatura}^2$$

Para el solvente Metanol

$$\text{Luminosidad}_{\text{Metanol}} = 85,9853892 + 0,02295513 \times \text{Tiempo} - 0,01706831 \times \text{Temperatura} + 2,2222\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 0,00029558 \times \text{Tiempo}^2 + 0,0001516 \times \text{Temperatura}^2$$

En la Figura 11 se presenta el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el parámetro de color - Luminosidad, cuando se utiliza etanol como solvente. De la Figura 12 se puede observar que, a medida que se incrementa el tiempo de extracción en ambas temperaturas, la luminosidad aumenta hasta un tiempo de 45 minutos. A partir de este punto, la luminosidad comienza a disminuir, siendo especialmente menor a una temperatura de 70°C y un tiempo de extracción de 60 minutos.

Gráfico de contorno y superficie de respuesta para luminosidad con solvente etanol

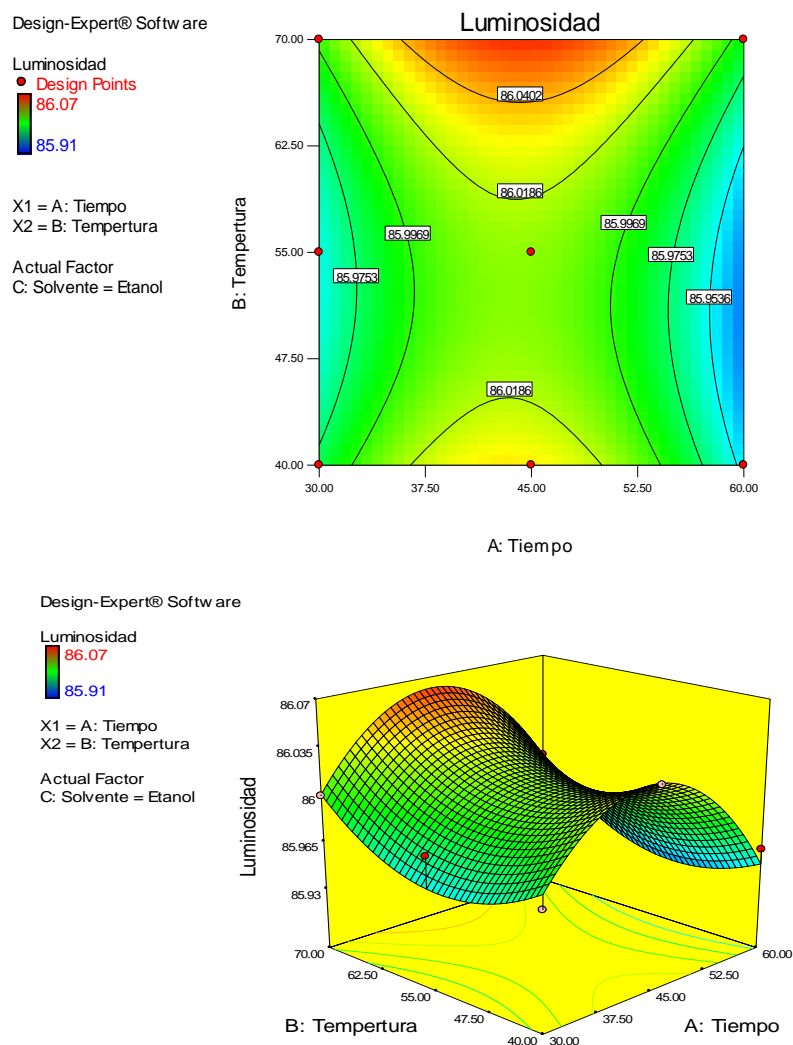


Figura 11 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - Luminosidad teniendo como solvente etanol

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 11, se observa que la zona roja indica una mayor luminosidad, alcanzando un valor de 86.0402, especialmente a mayor temperatura y con un tiempo de extracción de 45 minutos. En contraste, la zona azul muestra una menor luminosidad, con un valor de 85.9536. Esto demuestra que la combinación de alta temperatura y un tiempo de extracción óptimo maximiza la luminosidad del extracto de antocianinas.

Gráfico de interacción

Design-Expert® Software

Luminosidad

● Design Points

■ B- 40.000

▲ B+ 70.000

X1 = A: Tiempo

X2 = B: Temperatura

Actual Factor

C: Solvente = Etanol

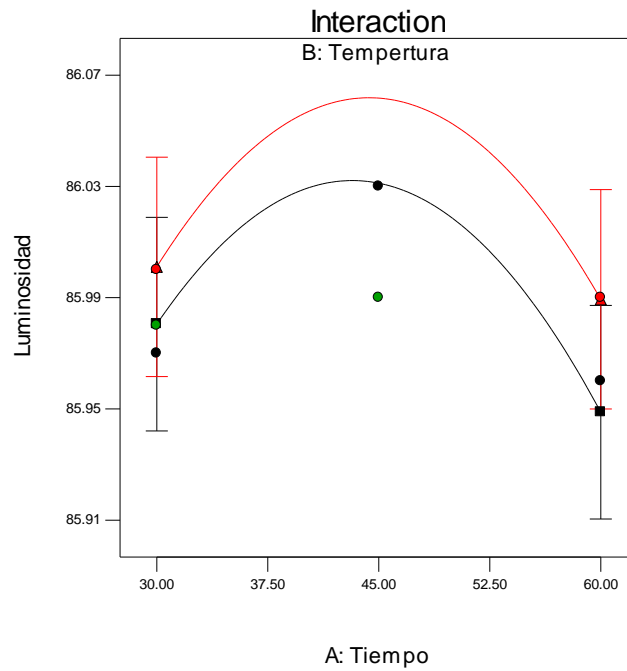


Figura 12 Gráfico de interacción para la variable dependiente Parámetro de color - luminosidad teniendo como solvente etanol.

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 13 se presenta el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el parámetro de color - Luminosidad, cuando se utiliza metanol como solvente. De la Figura 14 se puede observar que, al aumentar el tiempo de extracción, la luminosidad incrementa hasta los 40 minutos, momento en el cual comienza a disminuir. Este descenso en la luminosidad es más notable a una temperatura de 40°C.

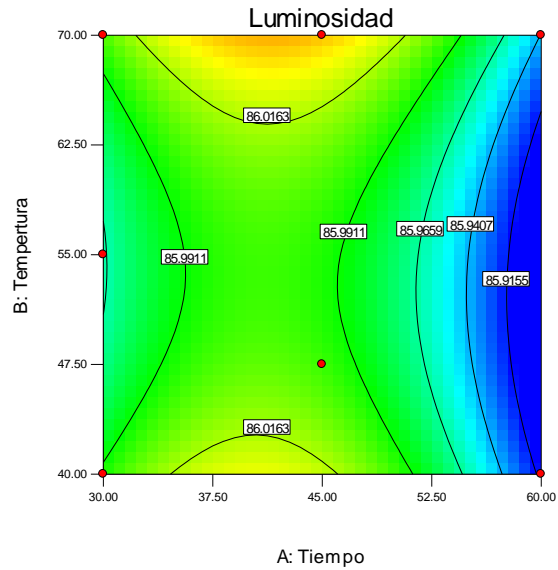
Gráfico de contorno y superficie de respuesta para luminosidad con solvente metanol

Design-Expert® Software

Luminosidad
 ● Design Points
 86.07
 85.91

X1 = A: Tiempo
 X2 = B: Temperatura

Actual Factor
 C: Solvente = Metanol



Design-Expert® Software

Luminosidad
 86.07
 85.91

X1 = A: Tiempo
 X2 = B: Temperatura

Actual Factor
 C: Solvente = Metanol

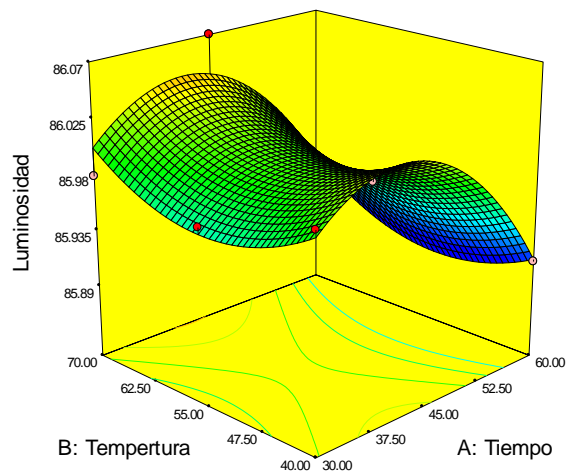
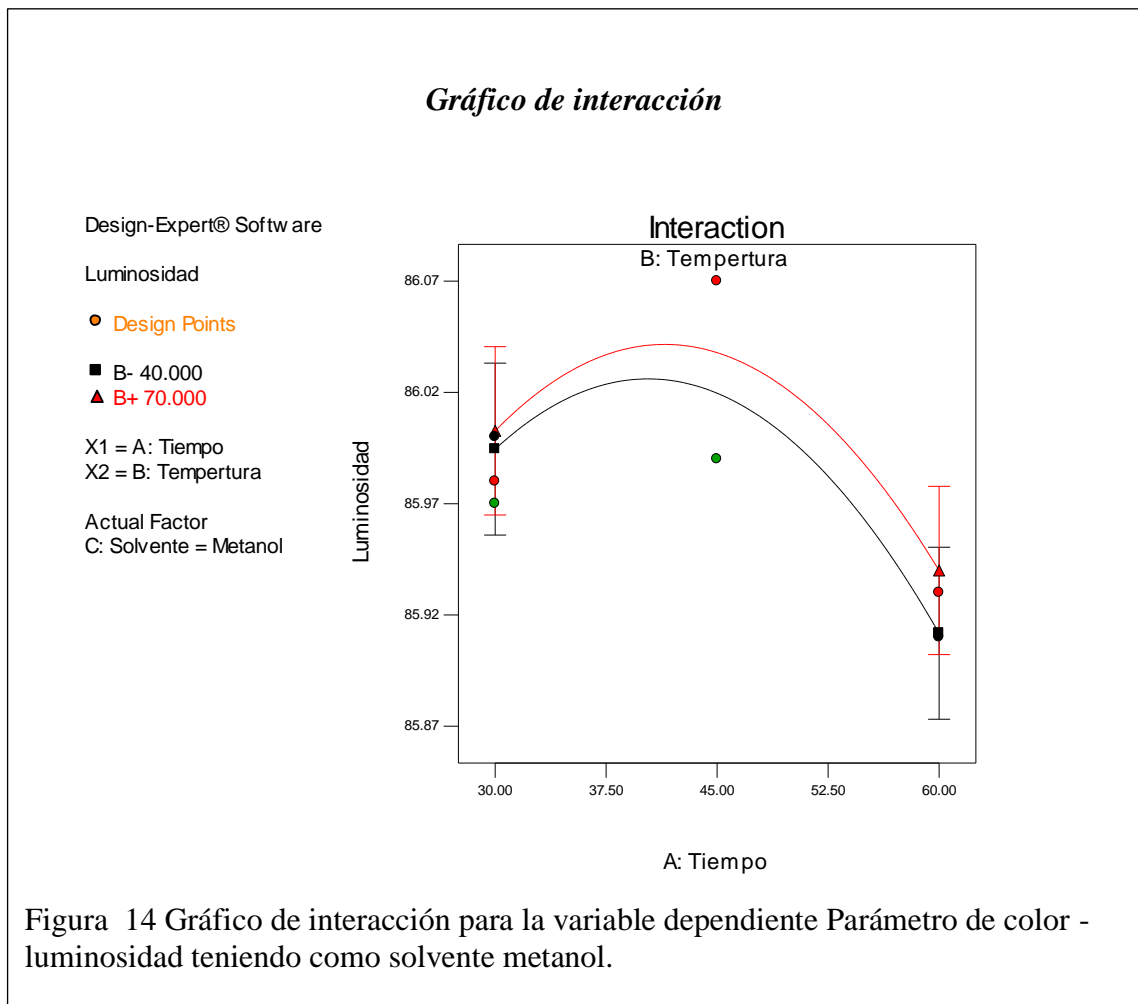


Figura 13 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - Luminosidad teniendo como solvente metanol.

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 13 se observa que la zona de color amarillo rojizo indica una mayor luminosidad, con un valor de 86.0163, alcanzada a una temperatura de 70°C y un tiempo de extracción de 37 minutos. En contraste, la zona azul muestra una menor luminosidad, con un valor de 85.9155. Esto sugiere que la combinación de una alta temperatura y un tiempo de extracción adecuado maximiza la luminosidad del extracto de antocianinas cuando se utiliza metanol como solvente.



Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 15 se presenta el gráfico de probabilidad normal, donde la línea recta representa los residuales ajustados a una distribución normal. Como se puede observar, los residuales de los tratamientos experimentales se ajustan a una distribución normal para la variable del parámetro de color - Luminosidad.

Gráfico de probabilidad normal

Design-Expert® Software
Luminosidad

Color points by value of
Luminosidad:

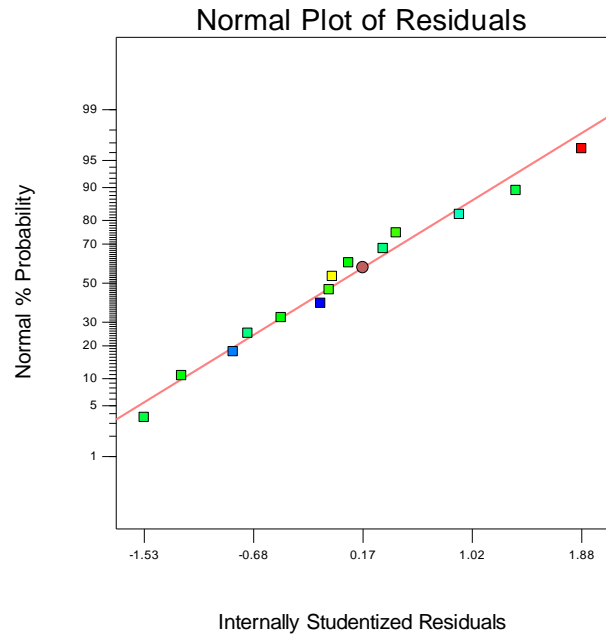


Figura 15 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente parámetro de color Luminosidad.

Fuente: Design Expert 7.0

En la Tabla 10 se presenta el análisis de varianza para el parámetro de color - cromacidad. Como se puede observar, no hay variables significativas, lo que indica que estas no son estadísticamente significativas en el rendimiento, ya que todos los p-valores son mayores a 0.05.

Tabla 10

Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento parámetro de color cromacidad.

Source	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrado	Valor F	p-valor Prob > F
Model	0,0050978	8	0,00063722	0,55047013	0.7842
A-Tiempo	0,00022795	1	0,00022795	0,19691642	0.6758
B-Temperatura	0,00086241	1	0,00086241	0,74499644	0.4275
C-Solvente	0,00248106	1	0,00248106	2,14327901	0.2031
AB	0,0002091	1	0,0002091	0,18063326	0.6885
AC	3,7448E-06	1	3,7448E-06	0,00323495	0.9568
BC	0,00021195	1	0,00021195	0,1830962	0.6865
A^2	0,00039676	1	0,00039676	0,34274693	0.5837
B^2	5,9541E-05	1	5,9541E-05	0,05143518	0.8296
Residual	0,00578801	5	0,0011576		
Cor Total	0,0108858	13			
R-Squared	0,46829785				

Fuente: Design Expert 7.0

Las ecuaciones 5 y 6, representan el modelo matemático al cual se ajustan los datos, se tiene dos modelos matemáticos ya que hay una variable dependiente categórica (solvente).

Para el solvente Etanol

Solvente

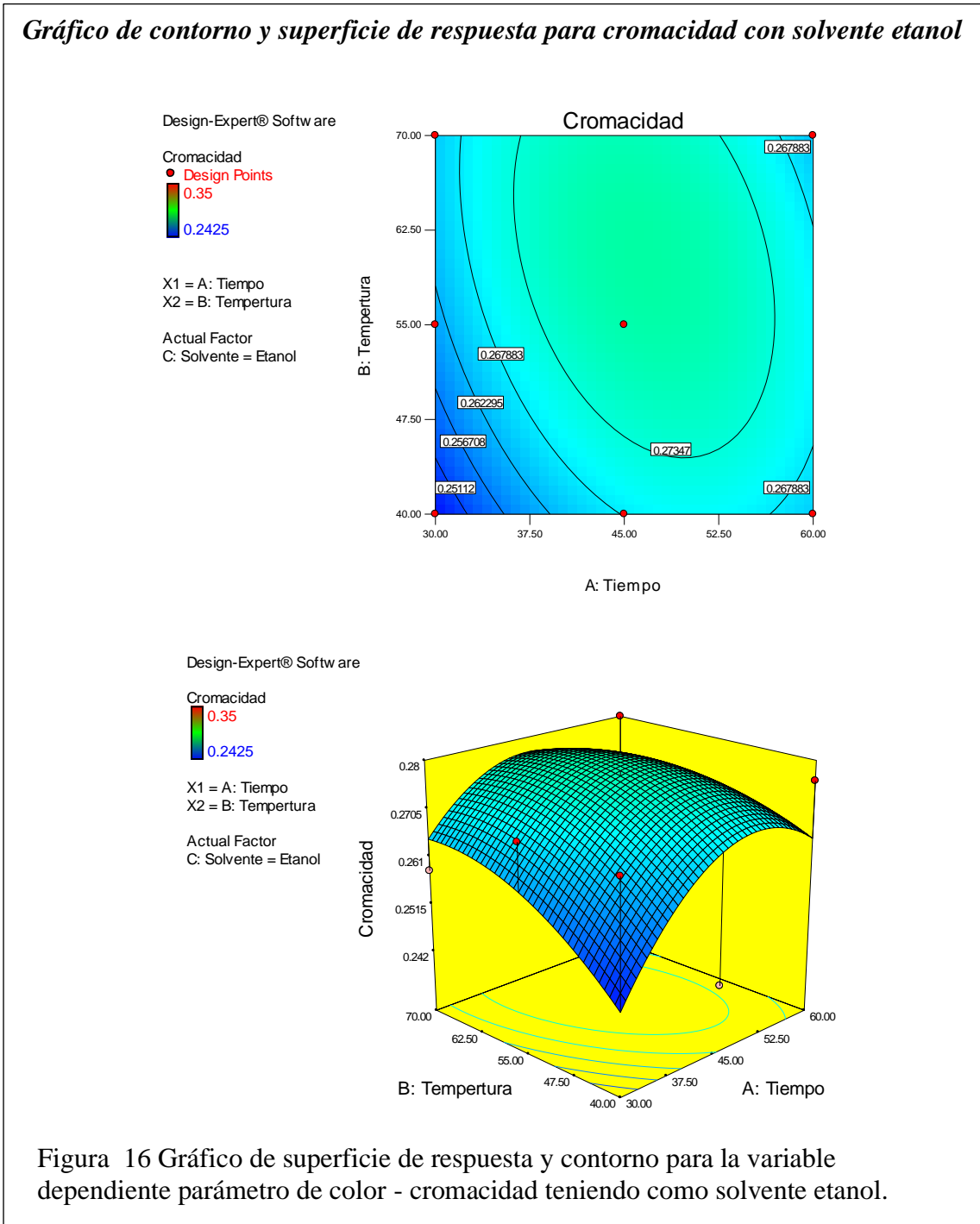
$$\text{Cromacidad}_{\text{Etanol}} = 0,00257505 + 0,00670871 \times \text{Tiempo} + 0,0039796 \times \text{Temperatura} - 2,2722\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 5,7274\text{E-}05 \times \text{Tiempo}^2 - 2,4171\text{E-}05 \times \text{Temperatura}^2$$

Para el solvente Metanol

$$\text{Cromacidad}_{\text{Metanol}} = -0,00915197 + 0,00679152 \times \text{Tiempo} + 0,00462162 \times \text{Temperatura} - 2,2722\text{E-}05 \times \text{Tiempo} \times \text{Temperatura} - 5,7274\text{E-}05 \times \text{Tiempo}^2 - 2,4171\text{E-}05 \times \text{Temperatura}^2$$

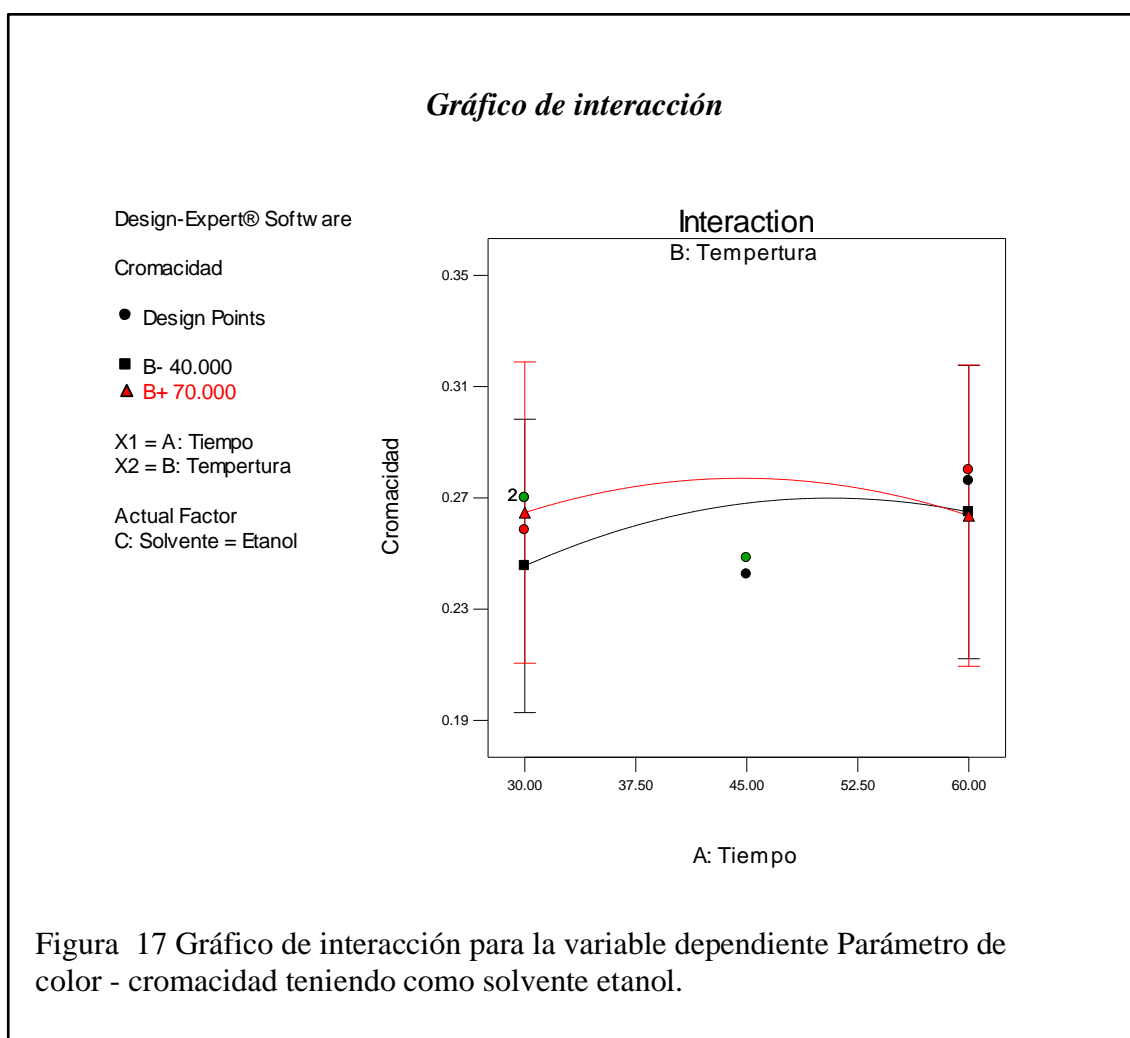
En la Figura 16 se presenta el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el rendimiento de cromacidad, cuando se utiliza etanol como solvente. De la Figura 17 se

observa que los valores de cromacidad son iguales a una temperatura de 70°C y 40°C con un tiempo de 60 minutos. Esto indica que, bajo estas condiciones, la temperatura no tiene un impacto significativo en la cromacidad del extracto.



Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 16 se observa que la zona verde representa un mayor valor de luminosidad, que disminuye conforme se aproxima a la zona azul. Esto indica que la luminosidad es más alta en las áreas verdes y decrece gradualmente hacia las áreas azules.



Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 18 se presenta el gráfico de contorno y la superficie de respuesta para el parámetro de color - cromacidad, cuando se utiliza etanol como solvente. Según se observa en la Figura 19, al aumentar el tiempo de extracción para ambas temperaturas, la cromacidad también aumenta. Sin embargo, a partir de los 45 minutos, la cromacidad comienza a disminuir, siendo esta disminución más notable a una temperatura de 40°C. Esto sugiere que existe un tiempo óptimo de extracción antes de que la cromacidad empiece a decrecer, especialmente a temperaturas más bajas.

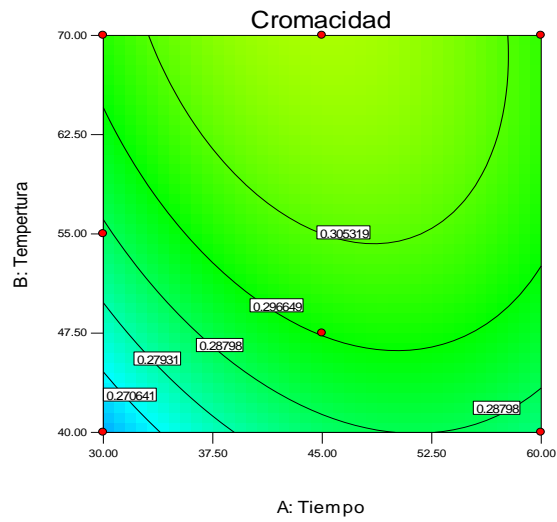
Gráfico de contorno y superficie de respuesta para cromacidad con solvente metanol

Design-Expert® Software

Cromacidad
 ● Design Points
 0.35
 0.2425

X1 = A: Tiempo
 X2 = B: Temperatura

Actual Factor
 C: Solvente = Metanol



Design-Expert® Software

Cromacidad
 0.35
 0.2425

X1 = A: Tiempo
 X2 = B: Temperatura

Actual Factor
 C: Solvente = Metanol

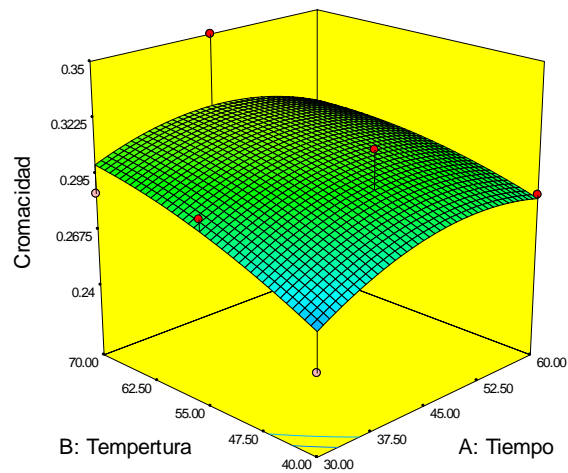
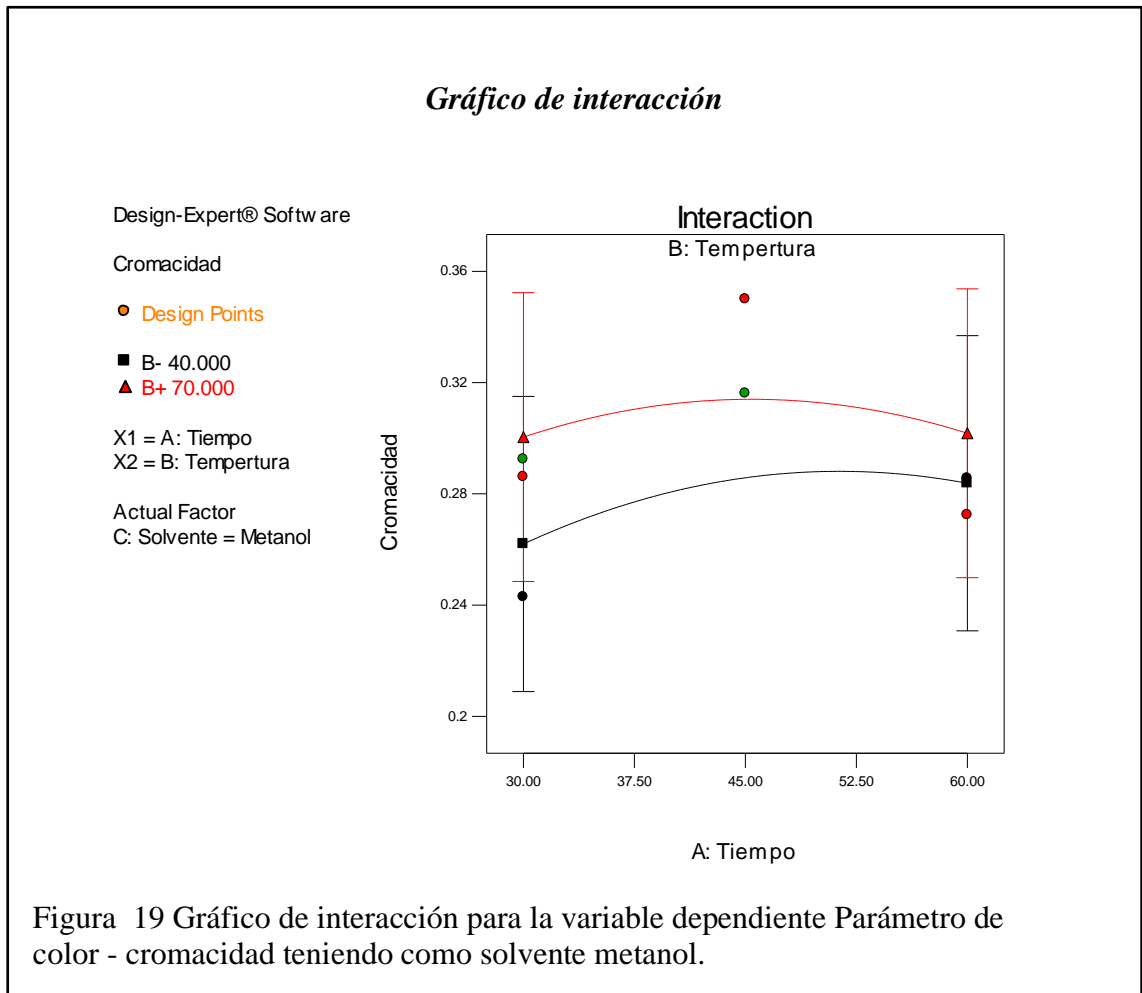


Figura 18 Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente parámetro de color - cromacidad teniendo como solvente metanol

Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 18, se observa que la zona amarilla indica los valores más altos de cromacidad. Estos valores disminuyen en la zona verde y son aún menores en la zona azul. Esto sugiere que las condiciones que corresponden a las zonas amarillas son las más efectivas para obtener una mayor cromacidad, mientras que las zonas verdes y azules reflejan condiciones que resultan en una menor cromacidad del extracto de antocianinas.



Fuente: Design Expert 7.0

En la Figura 20 se presenta el gráfico de probabilidad normal, en el cual la línea recta representa los residuales cuando se ajustan a una distribución normal. Como se puede observar, los residuales de los tratamientos experimentales se ajustan a una distribución normal para la variable del parámetro de color - cromacidad.

Gráfico de probabilidad normal

Design-Expert® Software
Cromacidad

Color points by value of
Cromacidad:

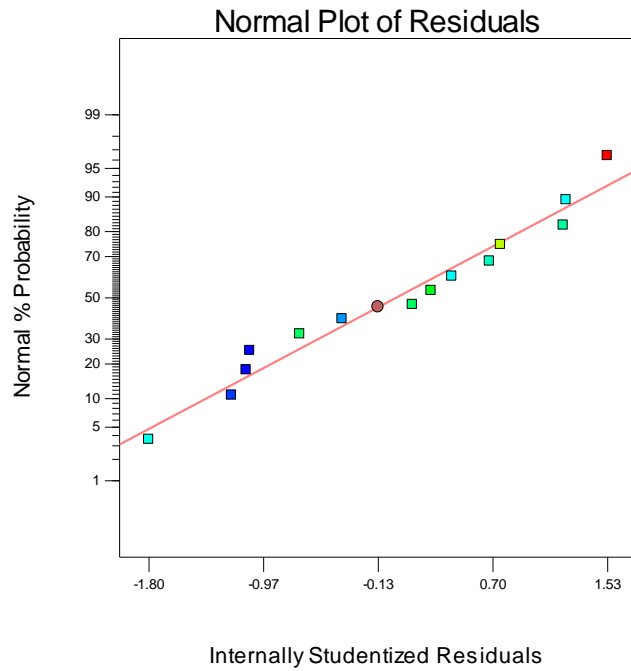


Figura 20 Gráfico de distribución normal de los residuales para la variable dependiente parámetro de color cromacidad

Fuente: Design Expert 7.0

3.2. Discusión de resultados

La correlación entre la temperatura y la eficacia en la extracción de antocianinas es notablemente significativa, mostrando un aumento en el rendimiento a medida que la temperatura asciende. Este fenómeno ha sido corroborado por investigaciones anteriores, incluyendo el estudio referenciado, que utilizó agua sulfurada para la extracción de compuestos fenólicos y antocianinas de grosellas negras. Los resultados de dicho estudio revelaron que un aumento de la temperatura de 6 a 30°C no sólo potenció el rendimiento de las antocianinas, sino que también redujo considerablemente el tiempo requerido para su extracción utilizando solventes tales como alcohol y agua sulfurada. Sin embargo, es crucial destacar que temperaturas elevadas, en el rango de 40 a 70°C, resultaron perjudiciales, ya que indujeron una descomposición térmica de las antocianinas, lo que comprometió la integridad de estos compuestos bioactivos. Esta relación temperatura-rendimiento subraya la sensibilidad térmica de las antocianinas y sugiere un equilibrio óptimo en la configuración de los parámetros de extracción para maximizar la recuperación de estos valiosos pigmentos naturales sin comprometer su estabilidad. Además, este conocimiento es esencial para diseñar procesos de extracción más eficientes y sostenibles que puedan ser aplicados industrialmente, asegurando así la calidad y la concentración de antocianinas en los productos finales. En conjunto, estos hallazgos ofrecen una perspectiva valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones en la industria de alimentos y suplementos, donde las antocianinas son apreciadas por sus propiedades antioxidantes y sus beneficios para la salud. [57].

El uso de metanol como solvente demostró ser particularmente efectivo en la extracción de antocianinas, logrando los mejores resultados en términos de rendimiento. Este descubrimiento encuentra apoyo en el estudio [58], que se centró en la optimización del proceso de extracción de antioxidantes a partir de cáscaras de plátano utilizando metanol, ajustando factores como la temperatura y el tiempo de extracción para maximizar la eficiencia. Este resultado resalta la eficacia del metanol, un solvente que, por su naturaleza orgánica y capacidad de solubilización, es ideal para liberar compuestos bioactivos localizados predominantemente en las capas superficiales de las plantas. Además, es común el uso de soluciones acidificadas que incluyen alcohol, acetona y sus mezclas con agua para

la extracción de antocianinas, como se indica en la referencia [59]. Estas soluciones acidificadas ayudan a mantener la estabilidad de las antocianinas durante el proceso de extracción, minimizando la degradación y facilitando una extracción más eficiente. Este método se utiliza ampliamente debido a su eficacia en la liberación de antocianinas, que son pigmentos solubles en agua pero con una mayor solubilidad en presencia de solventes orgánicos bajo condiciones ácidas. Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar el solvente adecuado para la extracción de antocianinas, considerando no solo la eficiencia en la extracción sino también la preservación de la integridad química de los compuestos extraídos. Así, el metanol se destaca como una opción robusta para aplicaciones industriales donde se busca maximizar la recuperación de antocianinas de fuentes vegetales, aprovechando su capacidad para extraer eficientemente estos valiosos compuestos antioxidantes. [59].

El uso de metanol como solvente se destacó por proporcionar el más alto rendimiento en la extracción de antocianinas, un resultado que armoniza con los hallazgos del estudio [58]. Este estudio innovó en el desarrollo de un proceso de extracción específicamente diseñado para obtener compuestos metanólicos ricos en antioxidantes de la cáscara de plátano, ajustando meticulosamente parámetros como el número de etapas del proceso, la temperatura (entre 25 y 50°C), y el tiempo de extracción (de 0 a 120 minutos). La optimización de estos parámetros fue crucial para maximizar la eficacia del proceso, destacando la relevancia de adaptar las condiciones de extracción a las características específicas del material vegetal y del compuesto de interés.

Las antocianinas, ubicadas predominantemente en células cercanas a la superficie externa de las plantas, se benefician de la aplicación de solventes orgánicos para su extracción debido a su capacidad para penetrar las paredes celulares y solubilizar estos pigmentos coloridos y solubles en agua. La práctica común de emplear soluciones acidificadas, como las que combinan alcohol, acetona, agua y mezclas de estas sustancias, ayuda a preservar la estructura química de las antocianinas durante el proceso de extracción, como se documenta en [59]. Estas soluciones acidificadas no solo facilitan la extracción efectiva de las antocianinas, sino que también contribuyen a mantener su estabilidad, evitando la degradación y pérdida de funcionalidad biológica.

Este enfoque metodológico subraya la importancia de seleccionar el solvente adecuado y ajustar las condiciones de extracción para optimizar la recuperación de antocianinas y otros compuestos antioxidantes, lo cual es esencial para aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, donde estos compuestos son valorados por sus numerosos beneficios para la salud y sus propiedades organolépticas. [59].

Peña-Varela, Salinas-Moreno y Ríos-Sánchez en su estudio del año 2006, destacaron la influencia de la localización geográfica y el grado de madurez en el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante en frambuesas. Específicamente, observaron que en Tlamimilolpa, Hidalgo, los niveles de antocianinas fluctuaban entre 0.287 mg/g y 0.556 mg/g de fruta fresca, mientras que en San Mateo Acatitlán, México, estos niveles variaban de 0.088 mg/g a 0.53 mg/g. Esta variabilidad subraya cómo factores ambientales y de cultivo pueden influir significativamente en la composición fitoquímica de las frambuesas. [60]

Otro estudio, identificado como [60], corroboró estas observaciones al reportar que el contenido total de antocianinas en las frambuesas no solo depende de la localidad, sino también de la variedad de la planta, con concentraciones que oscilan entre 0.19 y 0.51 mg/g de fruta fresca. Estos valores resultan ser inferiores a los obtenidos en nuestra investigación actual, donde se registraron concentraciones de antocianinas que varían entre 0.39456 mg/g y 0.60282 mg/g de fruta fresca. [61] [62]

Este tipo de hallazgos resalta la importancia de considerar tanto los factores genéticos como los ambientales al evaluar y mejorar la calidad nutricional y fitoquímica de los cultivos. Además, sugiere que mediante la optimización de las condiciones de cultivo y la selección de variedades adecuadas, es posible incrementar la producción de compuestos beneficiosos como las antocianinas, lo que a su vez puede potenciar las propiedades saludables y comerciales de las frambuesas.. [61] [62]

Finalmente, aunque existen diversos estudios relacionados con el tema, aún quedan muchos aspectos por aclarar, como el contenido de antocianinas en diferentes frutos, las técnicas de extracción y la estabilización química en las condiciones de Perú. La frambuesa tiene un gran potencial como recurso natural para la elaboración de colorantes naturales, por lo que es importante continuar con estudios sobre la extracción y estabilización química de

antocianinas para obtener productos de valor agregado aplicables en los sectores alimentario y cosmético.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Las frambuesas presentan las siguientes características fisicoquímicas: humedad 81.95%, grasas 1.2%, carbohidratos 8.16%, proteínas 3.19%, cenizas 1.0%, fibra 4.5%, grados Brix 11.5, pH 2.64 y acidez 1.8.
- El valor calórico de las frambuesas es de 56.92 Kcal, con un valor nutritivo de 5.14.
- Las condiciones óptimas para obtener una mayor concentración de antocianinas son: uso de metanol como solvente, una temperatura de 70°C y un tiempo de extracción de 45 minutos.
- El colorante natural extraído de antocianinas puede sustituir a los colorantes sintéticos mediante la aplicación de otros métodos de conservación.

4.2. Recomendaciones

- Evaluar el estado de madurez de los frutos para determinar su influencia en el rendimiento de antocianinas.
- Considerar el uso de otros solventes como acetona y explorar diferentes concentraciones para observar su impacto en el rendimiento de antocianinas.
- Durante el proceso de extracción, proteger las muestras de la luz para evitar la degradación de las antocianinas.

REFERENCIAS

- [1] B. Henry, «Natural food colours,» de *Natural food colours* *Natural Food Colorants*, 2 ed., 1996, pp. 40-79.
- [2] F. Cunha, «Estudo da Extração Mecânica de Bixina das Sementes de Urucum em Leite de Jorro.,» Uberlândia, 2008.
- [3] L. Gomes, «Inclusão de carotenoides de pimentão vermelho em ciclodextrinas e avaliação da sua estabilidade, visando aplicação em alimentos,» *Dissertação (Mestre em Ciências Aplicadas), Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Fluminense, Niterói*, p. 108, 2012.
- [4] P. Bridle y C. Timberlake, «Anthocyanins as natural food colours selected aspects.,» *Food Chemistry*, vol. 28, nº 1-2, pp. 103-109, 1997.
- [5] S. Mallacrida y S. Motta, «Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade,» *CEPPA*, vol. 24, pp. 59-82, 2006.
- [6] A. Downhan y P. Collins, «Colouring our foods in the last and next millennium.,» *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 35, pp. 5-22, 2000.
- [7] T. Lopes, «Adsorção de antocianinas do repolho roxo em argilas. Dissertação,» 2002.
- [8] S. Wang y H. Lin, «Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, nº 2, pp. 140-146, 2000.
- [9] S. Wang, T. Chen y C. Wang, «The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberry,» *Food Chemistry*, vol. 112, pp. 676-684, 2009.
- [10] L. Antunes, J. Filho y C. Souza, «Conservação pós-colheita de frutos de amoreira-preta.,» *Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília*, vol. 38, nº 3, 2003.
- [11] M. Raseira, E. Gonçalves, R. Trevisan y L. Antunes, «Aspectos técnicos da cultura da Framboeseira,» *Documentos 120. Pelotas/RS: Embrapa Clima Temperado*, p. 22, 2004.
- [12] N. Cubero, A. Monferrer y J. Vilalta, *Aditivos alimentarios*, Madrid. España: Mundi-Prensa, 2002, pp. 21-49.
- [13] S. Tsuda, M. Murakami, K. Kano, K. Taniguchi y Y. Sasaki, «DNA damage induced by red food dyes orally administered to pregnant and male mice.,» *Toxicological Sciences*, vol. 61, pp. 92-99, 2001.

- [14] F. Stintzing y R. Carle, «Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition.,» *Trends Food Science Technology* , vol. 15, pp. 19-38, 2004.
- [15] M. Moßhammer, M. Rohe, F. Stintzing y R. Carle, « Stability of yelloworange cactus pear (*Opuntia ficus-indica* [L.]Mill. cv. 'Gialla') betalains as affected by the juice matrix and selected food additives,» *European Food Research and Technology* , vol. 225, pp. 21-32, 2007.
- [16] K. Safranski y S. Rodriguez, «Extraction and stability of anthocyanin purple cabbage (*Brassica oleracea*),» *Revista espacio*, vol. 38, nº 27, p. 8, 2017.
- [17] M. Andreotti, «Extracción, estabilidad y cuantificación de antocianinas de frutas típicas brasileñas para aplicación industrial como colorantes,» *Instituto de química Unicamp, Janeiro*, 2008.
- [18] L. Jakobek, M. Seruga y M. Medvidovic, «Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit,» *Department of Applied Chemistry and Ecology, Faculty of Food Technology J. J. Strossmayer University of Osijek, Kuhadeva I 8, H R-31 000 Osijek/Croatia.*, Nov 2007.
- [19] P. Constant, «Extracción, caracterización y aplicación de antocianinas açai (euterpe oleracea, m.),» *Vicosa Minas Gerais-Brasil.*, 2003.
- [20] O. Bobbio, I. Druzian, A. Abrao, S. Bobbio y S. Fadelli, «Identificación y cuantificación de las antocianinas del fruto del açai (euterpe oleracea),» *Ciênc. Tecnol. Aliment*, vol. 20, nº 3, Sep./Dec. 2000.
- [21] J. P. y R. Isha, *Cultivo y manejo de frutas rojas*, Editorial de Agricultura, 2007.
- [22] M. Giustin y P. Jing, «Natural pigments of berries: functionality and application In: Berry fruit: value-added products for health promotion.,» *New York: CRC Press*, pp. 105-146, 2007.
- [23] J. Lin y C. Tang, «Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation,» *Food Chemistry*, vol. 101, pp. 140-147, 2007.
- [24] G. Pande y C. Akoh, «Antioxidant capacity and lipid characterization of six Georgia-grown pomegranate cultivars.,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, nº 20, pp. 9427-9436, 2009.
- [25] C. Morales, «Aspectos relevantes de la producción de frambuesa (*Rubus Idaeus* L.),» *Boletín INIA, Villa Alegre*, nº 192, pp. 29-30, 2009.
- [26] D. A., Países exportadores de frambuesa competirán por el mercado chino, *Agraria.pe* [Online]. Available: <https://agraria.pe>., 2021.

- [27] «Eroski Consumer,» 29 Octubre 2018. [En línea]. Available: <http://frutas.consumer.es/frambuesa/propiedades>.
- [28] P. Perkins-Veazie y G. Nonnecke, «Physiological changes during ripening of raspberry fruit. Hortscience,» *Alexandria*, vol. 27, pp. 331-333, 1992.
- [29] K. Mackensie, «The structure of the fruit of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) in relation to abscission,» *Annals of Botany, Oxford*, vol. 43, pp. 355-362, 1979.
- [30] M. Lila y I. Raskin, «Health-related interactions of phytochemicals,» *Journal of Food Science and Technology, Beltsville*, vol. 70, pp. 20-27, 2005.
- [31] W. kalt, «Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants,» *Journal of food science, Kentville*, vol. 70, pp. 11-19, 2005.
- [32] M. Liu, X. Li, C. Weber, C. Lee, J. Brown y R. Liu, «Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington*, vol. 8, nº 50, pp. 26-30, 2002.
- [33] J. Zawistowski, C. Biliaderis y N. Eskin, «Polyphenol oxidase,» de *Oxidative enzymes in foods. London: Elsevier Science Publishers*, 1991, pp. 217-273.
- [34] A. Cataneda, Chemical studies of anthocyanins., Food chemistry., 2009.
- [35] A. Scalbert y G. Williamson, «Dietary intake and bioavailability of polyphenols,» *Journal of Nutrition*, vol. 130, nº 8, pp. 2073-2085, 2000.
- [36] L.-S. C. N.-K. G. T.-F. C. y. R. B. J.-M. Kong, Analysis and biological activities of anthocyanins, vol. 64, no. 5, pp. 923-933, 2003.
- [37] R. M. a. R. Brouillard, The mechanism of co-pigmentation of anthocyanins in aqueous solutions, *Phytochemistry*, vol. 26, no. 8, pp. 2447-2451, 1987.
- [38] D. O. a. J. J. B. R. Figueroa, «Stability of anthocyanins under different pH conditions,» *Journal of Food Chemistry*, , , vol. 58, nº no. 3,, pp. pp. 345-354, 2010.
- [39] S. Damodaran, K. Parkin y O. Fennema, *Química de Alimentos de Fennema*, 4 ed., Porto Alegre: Artmed, 2010, p. 900.
- [40] P. Sarni-Manchado, V. Hevner y M. Utounet, «Reactions of phenoloxidase generated caftaric acid o-quinone with malvidin 3-o-glucoside,» *Journal of Phytochemistry*, vol. 45, nº 7, pp. 1369-1635, 1997.
- [41] R. Jackman, R. Yada, M. Tung y R. Speers, «Anthocyanins as food colorants – a review,» *Journal of Food Biochemistry*, vol. 11, pp. 201-247, 1987.

- [42] F. Stringheta, «La estabilidad de las antocianinas bajo diferentes condiciones de temperatura y pH,» *Revista de Ciencia de Alimentos*, vol. vol. 34, nº no. 4, pp. pp. 245-251, 1991.
- [43] A. kirca, M. Ozkan y B. Cemeroglu, «Stability of Black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars,» *Food Chemistry*, vol. 97, pp. 598-605, 2006.
- [44] H. Lee y V. Hong, «Chromatographic analysis of anthocyanins.,» *Journal of Chromatography A*, vol. 624, pp. 221-234, 1992.
- [45] J. Shipp y E. Abdel-AAL, «Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients.,» *The Open Food Science Journal*, vol. 4, pp. 7-22, 2010.
- [46] R. J. a. J. Smith, «The Effect of Oxygen on Anthocyanin Stability,» *Journal of Food Science*, vol. vol. 57, nº no. 5, pp. pp. 1285-1291, 1992.
- [47] L. D. e. a. Falcão, «Efecto del oxígeno en la degradación de antocianinas.,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. vol. 51, nº no. 15, pp. pp. 4316-4320, 2003.
- [48] S. Badui, *Química de los Alimentos*, México: 4th ed., México: Pearson Educación, 2006..
- [49] E. G. a. R. E. Wrolstad, «The effect of ascorbic acid on anthocyanins in strawberry systems,» *Journal of Food Science*, vol. vol. 67, nº no. 8, pp. pp. 2805-2810, 2002.
- [50] E. G. a. R. E. Wrolstad, «Influence of pigment concentration and water activity on color stability of anthocyanins,» *Journal of Food Science*, vol. vol. 66, nº no. 3, pp. pp. 357-361, 2001.
- [51] T. Lopes, M. Xavier, M. Quadri y M. Quadri, «Antocianinas: Uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade,» *R. Bras. Agrociência, Pelotas*, vol. 13, nº 3, pp. 291-297, 2007.
- [52] G. Mazza y L. Gao, « Acylated anthocyanins in purple hulls of sunflower seeds and purple fleshed potatoes. In: Proceedings of the first international symposium on natural colorants (Hereld PC ed),» *Hamden, Connecticut: SIC Publishing.*, 1994.
- [53] C. Mantel, M. Rodriguez y E. La OSSA, «Semi-batch extraction of anthocyanins from red grape pomace in packed beds: experimental results and process modeling.,» *Chemical Engineering Science, Chatswood.*, vol. 57, nº 18, pp. 3831-3838, 2002.
- [54] Cevallos-Casals BA y L. Cisneros-Zevallos , «Stability of Anthocyaninbased Aqueous Extract of Andean Purple Corn and Red Fleshed Sweet Potato Compared to Synthetic and Natural Colorants.,» *Food Chem*, vol. 89, pp. 69-77, 2004.
- [55] AOAC, *Official Methods of Analysis of Aoac International*, 16 ed., vol. II, Washington DC, USA., 1995.

- [56] E. Kuskoski, «Aplicaciones de diversos metodos quimicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos.,» *Ciencia y tecnología alimentaria.*, vol. 25, nº 4, pp. 726-732, 2005.
- [57] J. Cacace y G. Mazza, «Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries.,» *J.Food Eng.*, vol. 59, pp. 379-389, 2003.
- [58] R. Montelongo, M. Gonzales y M. Lobo, «The effect of extraction temperature, time and number of steps on the antioxidant capacity of methanolic banana peel extracts. Separation and Purification.,» *Technology*, pp. 347-355, 2010.
- [59] Z. Ju y L. Howard, «. Effects of Solvent and Temperature on Pressurized Liquid Extraction of Anthocyanins and Total Phenolics from Dried Red Grape Skin.,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 21, nº 18, pp. 5207-5213, 2013.
- [60] M. Anttonen y R. karjalainen, «nvironmental and Genetic Variation of Phenolic Compounds in Red Raspberry.,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 18, pp. 759-769, 2005.
- [61] G. Fan, Y. Han, Z. Gu y D. Che, «Optimizing conditions for anthocyanins extraction from purple sweet potato using response surface methodology (RSM),» *Science and Technology*, pp. 155-160, 2008.
- [62] A. Gorriti Gutierrez, J. Arroyo Acevedo , L. Negrón Ballarte, B. Jurado Teixeira, H. Purizaca Llajaruna, I. Santiago Aquise, E. Taype Espinoza y F. Quispe Jacobo, «Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.),» *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, vol. 8, núm. 6, noviembre,, vol. 8, nº 6, pp. 509-518, 2009.
- [63] F. Francis, «Food colorants: anthocyanins.,» *Critical Review of Food Science and Nutrition*, vol. 28, pp. 273-314, 1989.
- [64] C. Rice-Evans, N. Miller y G. Paganga, «Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids.,» *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 20, pp. 933-956, 1996.
- [65] S. Alkema y S. Segarer, «The chemical pigments of plants,» *Journal of Chemical Education*, vol. 59, nº 3, p. 183, 1982.
- [66] R. Brouillard, «Chemical structure of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as Food Colors,» *New York: Academic Press*, pp. 1-40, 1982.
- [67] D. Terci y A. Rossi, «Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução?,» *Química Nova*, vol. 25, nº 4, pp. 684-688, 2002.

- [68] P. Jing y M. Giusti, «Effects of extraction conditions on improving the yield and quality of an anthocyanin-rich of purple corn (*Zea mays* L.) color extract,» *Food Chemistry and Toxicology*, vol. 72, nº 7, pp. 363-368, 2007.
- [69] P. Bobbio y F. Bobbio, «Química do Processamento de alimentos.,» *São Paulo: Livraria Varela Ltda.*, p. 151, 1995.
- [70] D. Galli, «Extracción y caracterización de antocianinas en el residuo de uvas procesadas,» *Miranga Parana-Brasil*, Febrero 2010.
- [71] C. kaur y H. Kapoor, «Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables,» *Journal of Food Science and Technology*, vol. 37, pp. 153-161, 2002.
- [72] V. Lima y N. Guerra, «Antocianinas: Atividade Antioxidante e Biodisponibilidade,» *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, nº 37, pp. 121-128, 2003.
- [73] G. Mazza, J. Cacace y C. Kay, «Methods of Analysis for Anthocyanins in Plants and Biological Fluids,» *Journal of the Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg*, vol. 81, nº 1, pp. 129-145, 2004.
- [74] A. Volp, I. Renhe, K. Barra y P. Stringueta, «Flavonóides antocianinas: características e propriedades na nutrição e saúde,» *Revista Brasileira de Nutrição Clínica*, vol. 23, nº 2, pp. 141-149, 2008.
- [75] H. Sies y W. Stahl, «Vitamins E and C, b-carotene, and other carotenoids as antioxidants,» *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 62, nº 6, pp. 1315-1321, 1995.
- [76] G. Peña-Varela, Y. Salinas-Moreno y R. Rios-Sanchez, «Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración.,» *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 12, nº 2, pp. 159-163, 2006.
- [77] J. A. Mikko y O. K. Reijo, «Environmental and genetic variation of phenolic compounds in red raspberry,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 18, pp. 759-769, 2005.

ANEXOS



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

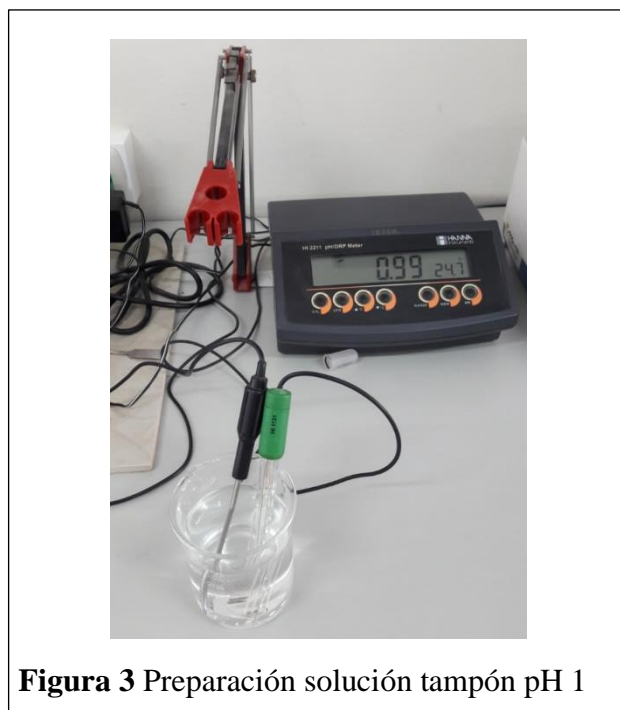




Figura 4 Frambuesas congeladas

Fuente: Elaboración propia

Elaboración propia

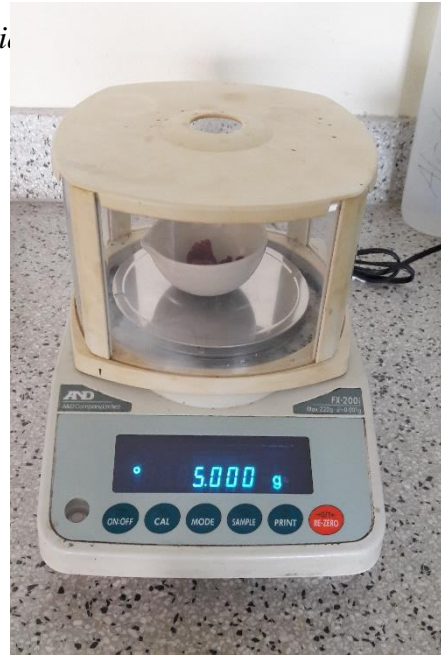


Figura 5 Pesado de frambuesa

Fuente: Elaboración propia



Figura 6 Sistema de extracción por destilación a reflujo

Fuente: Elaboración propia



Figura 7 Filtración al vacío



Figura 8 Extracto de antocianinas de frambuesa

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia



Figura 9 Preparación de disolución

Fuente: Elaboración propia

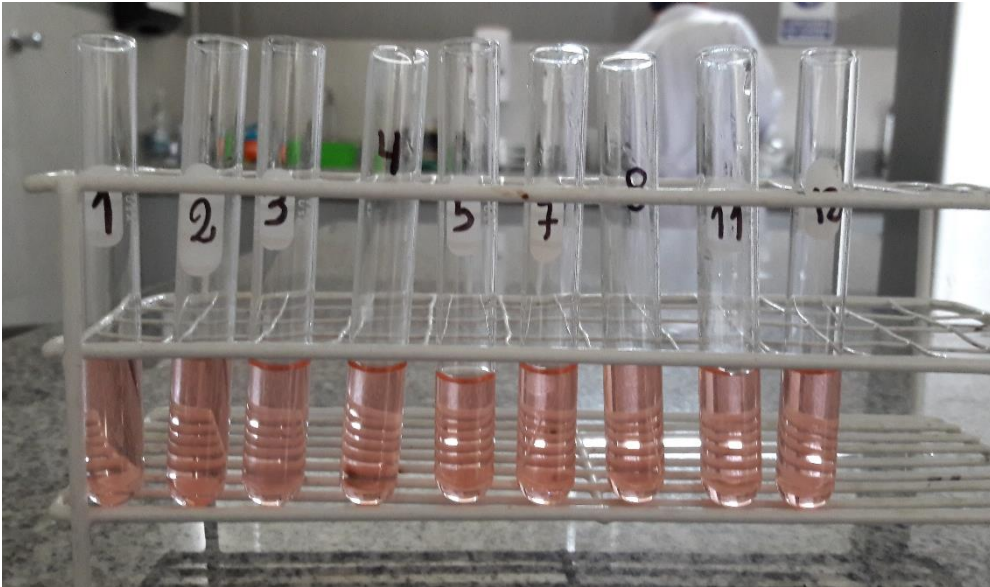


Figura 10 Dilución del extracto de antocianinas a pH 1

Fuente: Elaboración propia




Figura 11 Dilución del extracto de antocianinas a pH 4.5

Fuente: Elaboración propia




Figura 11 Medición en el espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia



**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - PERU**



CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS

I. DATOS DE SOLICITANTES:

Nombre: Saavedra Alarcón Leslie Shiomara

Proyecto de Tesis: "Estudio del proceso de extracción de antocianinas para uso alimentario a partir de frambuesa (*Rubrus idaeus L.*)"

II. DATOS DE LA MUESTRA:

Nombre: Fruta de Frambuesa
 Forma de presentación: Envase con fruta de frambuesa
 Estado del envase: Bueno
 Naturaleza del envase: Plástico
 Marca: No indica
 Procedencia: Chiclayo
 Fecha de producción: 27-11-18
 Fecha de vencimiento: No indica
 Autorización sanitaria: No indica
 Llegada al laboratorio: 28-11-18
 Fecha de análisis: 28-11-18

III. TIPO DE ANALISIS

FISICO-QUIMICO

IV. DOCUMENTO NORMATIVO

Reglamento sobre Vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (DS N° 05.007-98-SA)

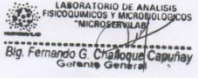
V. RESULTADO DEL ANALISIS

1. Determinaciones Físico – Químicas

Humedad	81.95 %
Grasa	1.2 %
Carbohidratos	8.16 %
Proteína	3.19 %
Ceniza	1.0 %
Fibra	4.5 %
Valor Calórico	56.92 kcal
Valor Nutritivo	5.14

VI. CONCLUSIONES

La muestra cumple con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007- 98-SA)



LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
"MICROSERVILAB"
Big. Fernando G. Chalique Capuray
Gerente General

Lambayeque, Noviembre del 2018

Figura 12 Certificado de calidad de alimentos

Fuente: MICROSERVILAB

Tabla 11
Medidas de absorbancias

	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Solvente</i>	<i>Absorvancia a pH 1</i>		<i>Absorvancia a pH 4.5</i>		<i>Absorvancia total</i>
	<i>min</i>	<i>°C</i>	-	<i>510 nm</i>	<i>700 nm</i>	<i>510 nm</i>	<i>700 nm</i>	
1	30	40	Etanol	0.311	0.017	0.074	0.017	0.23633
2	30	55	Etanol	0.368	0.014	0.086	0.007	0.27533
3	30	70	Etanol	0.291	0.005	0.030	0.003	0.25833
4	30	40	Metanol	0.370	0.008	0.023	0.001	0.34067
5	30	55	Metanol	0.368	0.007	0.065	0.004	0.30000
6	30	70	Metanol	0.3843	0.006	0.059	0.012	0.33133
7	45	40	Etanol	0.396	0.014	0.063	0.010	0.32967
8	45	55	Etanol	0.3677	0.001	0.030	0.001	0.33767
9	45	47.5	Metanol	0.362	0.012	0.027	0.006	0.32900
10	45	70	Metanol	0.348	0.015	0.044	0.007	0.29567
11	60	40	Etanol	0.325	0.024	0.063	0.001	0.23867
12	60	70	Etanol	0.370	0.028	0.040	0.017	0.31900
13	60	40	Metanol	0.415	0.004	0.074	0.023	0.36100
14	60	70	Metanol	0.360	0.018	0.044	0.036	0.33300

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se muestra las absorbancias de los diferentes tratamientos de la investigación

NOMBRE DEL TRABAJO

Estudio del proceso de extracción de antocianinas a partir de frambuesa (*Rubus idaeus* L.)-Shiomara S

AUTOR

LESLIE SHIOMARA SAAVEDRA ALARCÓN

RECUENTO DE PALABRAS

19536 Words

RECUENTO DE CARACTERES

110255 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

81 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 17, 2024 8:14 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 17, 2024 8:16 AM GMT-5

● **18% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado