

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

De acuerdo a un informe presentado a nivel municipal, en Bolivia, el cultivo de repollo se concentra principalmente en los departamentos de La Paz, Santa cruz, Chuquisaca y Cochabamba (MDRyT, 2022).

En la Tabla 1.1 se muestra la producción de hortalizas (repollo), año agrícola 2022; indicando la producción Tm (toneladas), superficie ha (hectáreas) y rendimiento Tm/ha (toneladas por hectárea).

Tabla 1.1

<i>Producción de hortalizas (repollo)</i>			
Departamento	Producción (Tm)	Superficie (ha)	Rendimiento (Tm/ha)
La paz	1637	191	8,59
Santa cruz	1063	206	5,16
Chuquisaca	876	73	12,03
Cochabamba	666	71	9,34
Tarija	182	23	8
Beni	103	12	8,75
Pando	85	13	6,76
Potosí	80	24	3,33
Oruro	39	5	7,9

Fuente: MDRyT, 2022

En La Paz, las zonas de los Yungas y el Altiplano son importantes para el cultivo de repollo. Los Yungas, con su clima subtropical, ofrecen condiciones ideales para el crecimiento de diversas hortalizas, incluido el repollo. Mientras tanto, en el Altiplano,

a pesar de las condiciones más extremas, la producción se ha adaptado con variedades resistentes al frío (MDRyT, 2018).

La producción de repollo morado en la ciudad de Tarija, Bolivia, se ha consolidado como una actividad agrícola importante, impulsada por la demanda local y las condiciones favorables de la región. El clima templado y los suelos fértiles de Tarija proporcionan un entorno ideal para el cultivo de este tipo de variedad de repollo (MDRyT, 2022).

En Tarija, las principales zonas de cultivo de repollo morado se encuentran en los alrededores de la ciudad, especialmente en las comunidades rurales de la provincia de Cercado. En la Tabla 1.2 se muestra la producción municipal (Tarija) de hortalizas (repollo), año agrícola 2022; indicando la producción toneladas (Tm), superficie hectáreas (has) y rendimiento toneladas por hectárea (Tm/has).

Tabla 1.2

Producción Municipal (Tarija) de hortalizas (repollo)

Municipios	Producción (Tm)	Superficie (has)	Rendimiento (Tm/has)
Entre Ríos (TA)	115	13	8,85
San Lorenzo (TA)	60	7	8,57
Uriondo	6	2	3

Fuente: MDRyT, 2022

Un informe del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (2021), destaca que el cultivo de repollo morado en Tarija ha recibido apoyo técnico y financiero por parte del gobierno local y organizaciones no gubernamentales. Este apoyo incluye la capacitación en técnicas agrícolas sostenibles y el suministro de semillas de alta calidad, lo que ha permitido a los agricultores mejorar la productividad y la calidad de sus cosechas.

Además, el Gobierno Autónomo Departamental de Tarija ha implementado programas específicos para fomentar la diversificación de cultivos y la inclusión del repollo morado en las prácticas agrícolas locales. Estos programas han sido fundamentales para la producción y la comercialización de esta hortaliza en la región (GADT, 2020).

1.2 Justificación

- En la actualidad, la col morada es una hortaliza de gran importancia por su valor nutritivo; sin embargo, su uso se limita principalmente al consumo en fresco. Por lo tanto, la transformación de la col morada en extracto de antocianinas representa una alternativa viable, con la finalidad de aumentar la demanda y reducir las pérdidas de este cultivo en el mercado de la provincia Cercado de Tarija.
- El presente trabajo de investigación tiene como finalidad aprovechar las propiedades del extracto de antocianina que aporta beneficios a la salud por su capacidad antioxidante, previniendo enfermedades cardiovasculares e inflamatorias para el ser humano.
- Asimismo, el extracto de antocianina puede ser utilizado como colorante natural en la elaboración de productos alimenticios, industria farmacéutica y cosmética, con el propósito de sustituir los colorantes sintéticos, ofreciendo una alternativa más segura y natural para el consumo humano.
- El presente trabajo de investigación contribuirá como aporte científico al proporcionar información sobre el método de extracción sólido-líquido, debido a que es una técnica sencilla para la extracción de antocianinas a nivel de laboratorio.

1.3 Objetivo general

Obtener extracto de antocianina a partir de col morada (*Brassica oleracea*), mediante el método de extracción sólido-líquido por maceración, con la finalidad de maximizar el rendimiento de la provincia Cercado de Tarija.

1.3.1 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de la col morada con la finalidad de conocer su porción comestible y no comestible.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la col morada con la finalidad de conocer su composición nutricional.
- Realizar un análisis cuantitativo del extracto comercial de antocianina con la finalidad de establecer la relación de concentración y absorbancia como referencia para pruebas experimentales.
- Desarrollar un análisis cuantitativo de las pruebas experimentales del extracto de antocianina con la finalidad de determinar su rendimiento.
- Aplicar un diseño factorial 2^3 para analizar la influencia del pH, la temperatura de extracción y el tiempo de maceración en el rendimiento del extracto de antocianinas.

1.4 Planteamiento del problema

En la provincia Cercado de Tarija se puede observar que, durante las temporadas de producción, la col morada enfrenta una baja demanda, debido al consumo escaso de esta hortaliza por parte de la población. Asimismo, este cultivo se destina principalmente al consumo en fresco, limitando sus posibilidades de aprovechamiento y reduciendo su valor económico. En el mercado local se evidencia que no existen alternativas de transformación de la col morada que permita ampliar su uso. Una opción viable es la obtención de extracto de antocianinas mediante el método de extracción sólido-líquido, que podría favorecer el aprovechamiento de este recurso, al mismo

tiempo aportando información científica y tecnológica para futuras investigaciones en el área de alimentos.

1.5 Formulación del problema

¿Cómo obtener el extracto de antocianinas a partir de col morada (*Brassica oleracea*) mediante el método de extracción sólido-líquido por maceración, de manera que se logre maximizar el rendimiento de la provincia Cercado de Tarija?

1.6 Objeto de estudio

La aplicación del método de extracción sólido-líquido por maceración a nivel experimental para obtener un extracto de antocianinas a partir de la col morada.

1.7 Campo de acción

En la Figura 1.1, se muestra el campo de acción aplicado para el presente trabajo de investigación.

Espacial	Temporal	Institucional
El presente trabajo se realizó en la ciudad de Tarija, provincia Cercado.	El presente trabajo se realizó en la gestión 2024-2025.	La parte experimental del trabajo se realizó en el Laboratorio de la Carrera Ingeniería de Alimentos, perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1: Campo de acción

1.8 Planteamiento de la hipótesis

La aplicación del método de extracción sólido-líquido por maceración permitirá obtener extracto de antocianinas a partir de col morada (*Brassica oleracea*) en la provincia Cercado de Tarija, logrando maximizar el rendimiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de las antocianinas

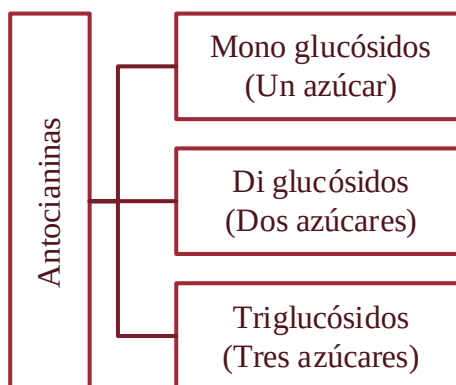
Las antocianinas fueron aisladas y caracterizadas por primera vez en el siglo XIX. Uno de los pioneros en su estudio fue el químico alemán Richard Willstätter, quien en 1915 recibió el Premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre los pigmentos vegetales, entre los que se incluyen las antocianinas (Willstätter, 1915).

2.2 Definición de extracto de antocianinas como aditivo alimentario

Según el Codex alimentarius (2023): “Se entiende por aditivo alimentario cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus tres fases de fabricación, elaboración, preparación tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por si o sus subproductos en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características”.

2.3 Clasificación de las antocianinas

En la Figura 2.1, se puede observar la clasificación de las antocianinas de acuerdo al número de azúcares enlazados.



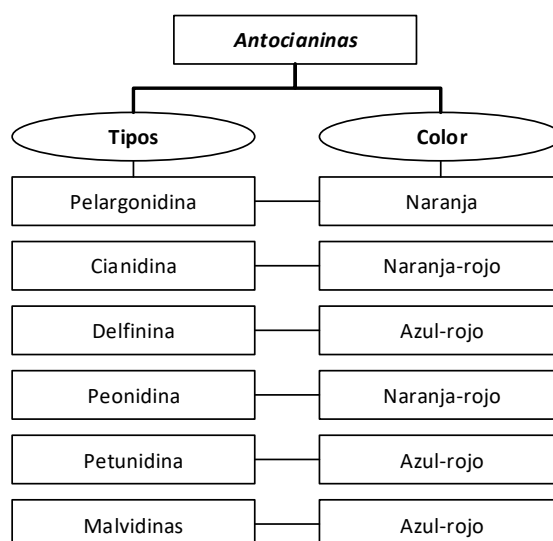
Fuente: Aguilera et al, 2011.

Figura 2.1: Clasificación de las antocianinas

La clasificación de las antocianinas de acuerdo al número de azúcares enlazados puede ser considerados como: mono-glucósidos, di-glucósidos o tri-glucósidos. Los mono glucósidos más comunes son: pentosas como arabinosa y xilosa, o bien hexosas, de las cuales la D-glucosa es la más frecuente, aunque también pueden estar presentes galactosa o ramnosa. Los di glucósidos más frecuentes son la gentobiosa, soforosa, sambubiosa y rutinosa. Los tri glucósidos reportados pueden ser lineales como la gentotriosa (Strack y Wray, 1989).

2.3.1 Tipos de antocianinas

En la Figura 2.2, se muestra los tipos de antocianinas y su color



Fuente: Garzón, 2008

Figura 2.2: Tipos de antocianinas y color

Las antocianinas consisten en pigmentos solubles en agua que por lo general son los principales responsables de aportar una variedad de colores a las plantas, distinguiéndose el rojo, azul y morado. La cianidina, delfinidina, pelargonidina, peonidina, malvidina y petunidina son las antocianinas más comunes distribuidas en las plantas, siendo sus distribuciones relativas por lo general, aproximadamente de (50, 12, 12, 12, 7 y 7) %, respectivamente. Cada una de estas antocianinas se manifiestan fenotípicamente en la planta o fruto de un color característico (De la Rosa et al, 2022).

2.4 Color y estabilidad de las antocianinas

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles responsables de una amplia gama de colores en frutas, verduras y flores, variando desde el rojo hasta el azul. El color depende principalmente del pH del medio en condiciones ácidas predominan tonalidades rojas, en valores cercanos a la neutralidad aparecen tonos púrpuras, y en medios básicos se observan colores azulados o verdosos (Castañeda et al., 2009).

La estabilidad de las antocianinas se ve influenciada por diversos factores como el pH, la temperatura, la luz, el oxígeno, la presencia de metales y las interacciones con otras moléculas como azúcares, flavonoides, taninos y proteínas. Estos factores pueden provocar degradación, pérdida de intensidad del color y disminución de sus propiedades funcionales (Durán et al., 2001).

2.5 Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

La estructura y propiedades de estos polifenoles, incluida su capacidad antioxidante, están influenciadas por ciertos factores como la temperatura, el pH y tiempo de maceración, factores que deben ser controlados para obtener resultados relevantes en términos de su actividad antioxidante (Enaru et al, 2021, p.4). En la Figura 2.3, se muestran los principales factores que afectan la estabilidad de las antocianinas.

Influencia del pH ^[#]	Influencia de la temperatura	Tiempo de maceración ^[*]
Las antocianinas dependen del pH de la solución. Así, en un ambiente ácido, a pH = 1,0; las antocianinas se encuentran en forma del catión flavilio (color rojo) que las hace muy estables y solubles en agua.	La temperatura es un factor que afecta la estabilidad de las antocianinas, a temperaturas superiores a 60 °C existe mayor degradación. Por otra parte, las bajas temperaturas contribuyen a la conservación de extractos antociánicos	El artículo “ <i>Investigating the Effect of Cold Soak Duration on Phenolic Extraction during Cabernet Sauvignon Fermentation</i> ” evaluó diferentes tiempos de maceración en frío (0,1,4,7 y 10 días), en donde no se observó diferencias significativas en fenoles.

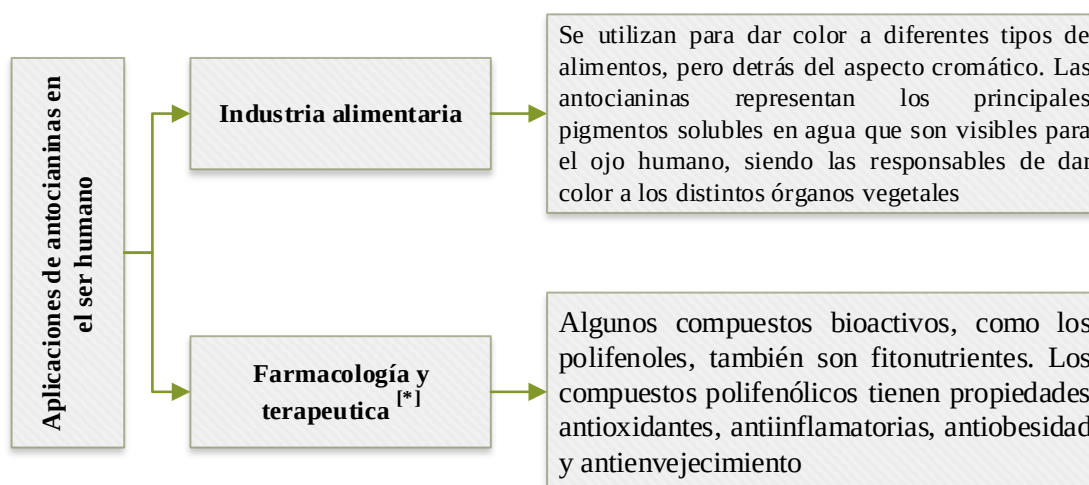
Fuente: Enaru et al, 2021^[#]; Liu et al. 2018 y Panprivech et al. 2015^[*]

Figura 2.3: Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

2.6 Aplicaciones del extracto de antocianina en el ser humano

Las antocianinas son pigmentos naturales que, además de conferir colores brillantes a muchas frutas, verduras y flores, poseen varias aplicaciones beneficiosas para la salud

humana (Garzón, 2008). En la Figura 2.4, se muestra la aplicación de las antocianinas en el ser humano.



Fuente: Mexican Journal of Biotechnology, 2020; Ngamsamer et al, 2022, p.4^[*]

Figura 2.4: Aplicación de antocianinas en el ser humano

2.7 Caracterización de la col morada

En la Figura 2.5 se muestran las características físicas de la col morada, considerando su origen, forma y tamaño.

Origen	La col morada (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>) es una hortaliza originaria de la región del Mediterráneo y Europa Central, cultivada desde tiempos antiguos. Su color púrpura se debe a la acumulación de antocianinas, pigmentos con propiedades antioxidantes que también actúan como indicadores de pH.
Forma ^[e]	Tiene una forma globosa o ligeramente achatada, con hojas compactas, lisas o ligeramente onduladas, de textura firme y color morado oscuro a violeta, dependiendo de la acidez del suelo. Esta forma favorece la protección natural de sus compuestos bioactivos.
Tamaño ^[ε]	El tamaño de la cabeza suele oscilar entre 15 y 25 cm de diámetro, con un peso promedio de 0,8 a 2 kg. Comparada con la col verde, la col morada tiende a ser más pequeña y más firme, lo que la hace ideal para almacenamiento y transporte.

Fuente: FAO, 2001; Díaz y Lobo, 2006^[*]; Villalobos y Fernández, 2010^[ε]

Figura 2.5: Características físicas de la col morada

2.7.1 Composición fisicoquímica de la col morada

La col morada presenta un alto contenido de agua, lo que la convierte en un alimento de baja densidad energética. Su contenido de carbohidratos principalmente en forma de azúcares simples como glucosa y fructosa, mientras que las proteínas se encuentran en menor proporción y los lípidos son casi inexistentes. Además, aporta una cantidad importante de fibra dietética (Podsędek, 2007). En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros fisicoquímicos de la hoja de col morada (*Brassica oleracea*).

Tabla 2.1

Parámetros fisicoquímicos de la hoja de col morada (Brassica oleracea)

Parámetros	Unidad	Valor Experimental
Proteínas	%	1,69 ± 0,03
Cenizas	%	1,46 ± 0,01
Fibra	%	0,7 ± 0,02
Humedad	%	90,69 ± 0,01

Fuente: Kamiloglu et al, 2015

2.7.2 Propiedades nutricionales de la col morada

La col morada (*Brassica oleracea*) es una hortaliza de alto valor nutricional, destacando por su contenido en vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos bioactivos. Es rica en vitamina C, vitamina K, ácido fólico y minerales como potasio, calcio y magnesio. Además, aporta compuestos fenólicos, especialmente antocianinas, responsables de su color característico y con reconocidas propiedades antioxidantes (Podsędek, 2007). En la Tabla 2.2 se muestra la composición nutricional de la col morada por cada 100g.

Tabla 2.2

Composición nutricional de la col morada

Valor nutricional por cada 100gr		Unidades
Valor energético	27	Kcal
Proteínas	1,1	g
Grasas	0,3	g
Hidratos de Carbono	3,7	g
Fibra	2,5	g
Calcio	60	mg
Magnesio	9	mg
Potasio	250	mg

Fuente: Escalante, 2019

2.8 Caracterización de reactivos utilizados para el extracto de antocianina

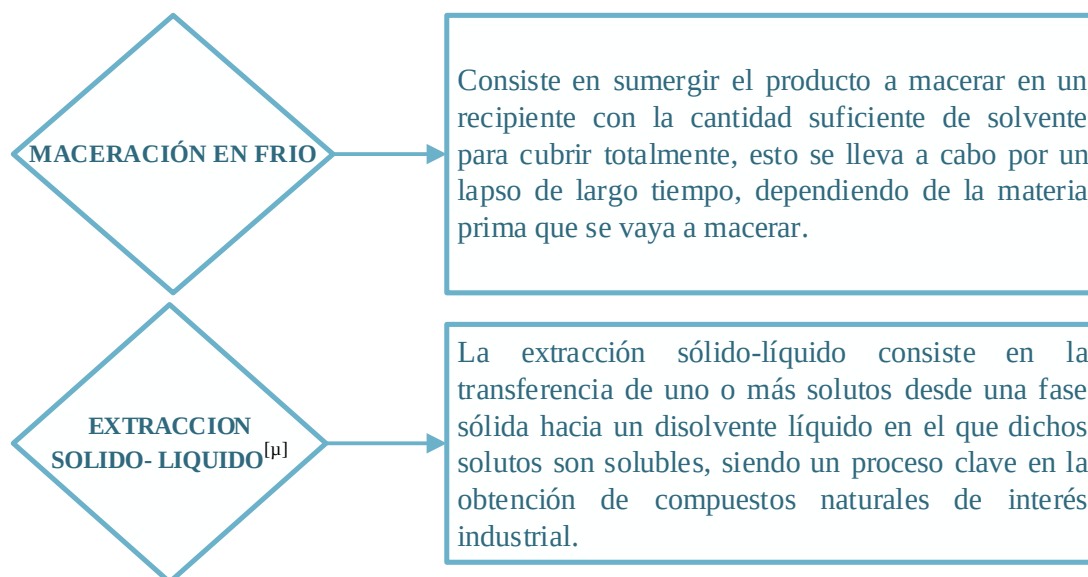
Las antocianinas son moléculas polares, por lo tanto, el reactivo común más utilizado en las extracciones son mezclas acuosas de etanol (Kahkonen et al, 2001, p. 479). En la Figura 2.5 se muestran los insumos a ser utilizados en la obtención de extracto de antocianinas y la importancia de cada uno de ellos en el proceso.

Etanol	Acido clorhídrico
El alcohol etílico ha sido el ingrediente principal de las bebidas alcohólicas desde la prehistoria; la industria alimentaria y de bebidas también se utiliza el etanol como disolvente para colorantes y aromatizantes, así como para crear extractos.	Es un reactivo utilizado en diversas síntesis y proceso químicos industriales; en la industria alimentaria, se usa para ajustar el pH en la producción de alimentos procesados, en los laboratorios, el ácido clorhídrico se utiliza en análisis químicos y experimentos.

Fuente: Nedstar, 2022

Figura 2.5: Insumos utilizados para el extracto de antocianina**2.9 Tipo de proceso a ser utilizado para el extracto de antocianina**

La maceración es un proceso de extracción sólido-líquido, donde la materia prima posee una serie de compuestos solubles en el líquido de extracción de los que se posee extraer, este proceso genera dos productos que pueden ser empleados dependiendo del tipo de necesidades de uso, en este caso el propio extracto (Ferneroli's, 1975). En la Figura 2.6, se muestra el tipo de proceso tecnológico a ser utilizados para la obtención del extracto de antocianina.



Fuente: Fernaroli's, 1975; Castro y Prat, 2000 ^[μ]

Figura 2.6: Proceso en el extracto de antocianina

2.9.1 Eficiencia de maceración en frío

Las ventajas de este método consisten en la utilización de equipos simples que requieren mínimas cantidades de energía y en la capacidad de extraer la mayoría de las propiedades de lo que macera (dependiendo del solvente) sin alterarla por efectos de temperatura. Si necesita periodos de tiempo mucho más extensos para lograr una extracción adecuada (Fernaroli's, 1975).

2.10 Espectrofotometría

El espectrofotómetro es la técnica más común y económica para medir la absorción de luz y la cantidad de sustancias químicas presentes en las muestras. La base de un espectrofotómetro es la luz y el color. En pocas palabras, se dice que el color de un objeto depende de la luz (Smac world, 2025).

2.10.1 Fundamento

El fundamento de la espectroscopia se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del

medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas (Díaz et al, 2015).

2.10.2 Equipo (espectrofotómetro UV-visible)

El espectrofotómetro UV-Visible es un instrumento utilizado para medir la absorbancia de radiación en las regiones ultravioleta (UV: 190–400 nm) y visible (VIS: 400–700 nm) del espectro electromagnético por parte de una muestra. Su uso principal es la cuantificación de compuestos que presentan absorción en estas regiones, como biomoléculas, colorantes y fármacos (Technology Networks, 2021).

2.10.3 Región UV y región visible

La región UV se define como el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm. Es una región de energía muy alta. Diversos factores como pH, concentración de sal y el disolvente; que alteran la carga de las moléculas, provocan desplazamientos de los espectros UV (Díaz et al, 2015).

En la región visible apreciamos el color visible de una solución y que corresponde a las longitudes de onda de luz que transmite, no que absorbe. El color que absorbe es el complementario del color que transmite. Por tanto, para realizar mediciones de absorción es necesario utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada (Díaz et al, 2015). En la Tabla 2.3, se muestran los rangos de longitud de onda y su colorimetría.

Tabla 2.3

Rangos de longitud de onda y su colorimetría

Longitud de onda aproximada	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja o ve
390-435	Violeta	Amarillo verdoso
435-490	Azul	Amarillo
490-580	Verde	Rojo
580-595	Amarillo	Azul
595-650	Naranja	Azul verdoso
650-780	Rojo	Verde azulado

Fuente: Díaz et al, 2015

2.10.5 Absorbancia

La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, en la ecuación 2.1, se muestra el cálculo de la absorbancia.

$$A = \log \frac{1}{T} = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_o} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

A= Absorbancia

T= Transmitancia [%]

I_t= Intensidad de radiación transmitida

I_o= Intensidad de radiación incidente

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales (**I_o = I_t**), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces **A** vale **log 1 = 0**.

La cantidad de luz absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución del cromóforo y de la concentración de éste (Díaz et al, 2015).

2.10.6 Transmitancia

La transmitancia (T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra, I_t, y la cantidad de luz que incidió sobre ella, I_o, y se representa normalmente en tanto por ciento. En la ecuación (2.2), se muestra el cálculo para el porcentaje de transmitancia.

$$\%T = \frac{I_t}{I_o} * 100 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

La transmitancia nos da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre %T y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa (Díaz et al, 2015).

2.10.7 Ley de Lambert - Beer

En la ecuación 2.3, se expresa la ley de la relación entre absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon * c * l \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

Donde:

A = Absorbancia [adimensional]

I₀ = Intensidad de la luz incidente [adimensional]

I = Intensidad de la luz transmitida [adimensional]

ε = Coeficiente de absorción molar [L·mol⁻¹·cm⁻¹]

c = Concentración de la sustancia [mol/L]

l = Longitud de la celda o camino óptico de la luz a través de la muestra [cm]

La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas; también depende de la distancia que recorre la luz por la solución (Díaz et al, 2015).

La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de concentración altos, el coeficiente de absorción molar varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz, agregación de moléculas, cambios del medio, etc (Díaz et al, 2015).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación “Extracción de antocianinas a partir de col morada (*Brassica oleracea*) en la provincia Cercado de Tarija” fue desarrollado en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención experimental

El presente trabajo de investigación utilizó la metodología experimental a nivel de laboratorio, con la finalidad de maximizar el rendimiento del extracto de antocianina en base a los siguientes análisis:

- Análisis físico, fisicoquímico y microbiológico de la col morada variedad (*Brassica oleracea*).
- Análisis cuantitativo de extracto comercial de antocianina
- Análisis cuantitativo de pruebas experimentales del extracto de antocianina
- Análisis del diseño factorial 2^3 para determinar el rendimiento del extracto de antocianina
- Operacionalización de las variables en la determinación del rendimiento para el extracto de antocianinas.

3.3 Paradigma de la investigación

Paradigma son los que cumplen como teoría o conjunto de teorías cuyo núcleo central se acepta sin cuestionar y que suministra la base y modelo para resolver problemas y avanzar en el conocimiento en las disciplinas de la ciencia moderna (RAE, 2022). Según (Ballina, 2004, p. 1) "paradigma es un conjunto de creencias y actitudes, como una visión del mundo compartida por un grupo de científicos que implica una metodología determinada".

“Un paradigma de investigación es un marco filosófico que guía cómo se entiende el conocimiento, cómo se construye la realidad y qué métodos son apropiados para investigar. Define la visión del mundo del investigador, epistemológicos y metodológicos que sustentan su enfoque, y determina el tipo de preguntas que se pueden formular” (Hernández et al, 2014).

3.3.1 Paradigma positivista

“El paradigma positivista se sustenta en la idea de que la realidad es objetiva y medible, por lo que el investigador debe observarla sin intervenir, usando métodos cuantitativos y verificables” (Sampieri et al, 2022, p. 17). “El paradigma positivista sostiene que la realidad es objetiva, puede ser observada y medida mediante procedimientos científicos. Se basa en la idea de que el conocimiento válido proviene de la experiencia empírica y la observación sistemática, utilizando métodos cuantitativos que permiten explicar y predecir fenómenos mediante leyes universales” (Hernández et al, 2014).

3.4 Enfoque de la investigación

Para el presente trabajo de investigación desarrollara y aplicara el enfoque cuantitativo. La metodología cuantitativa de acuerdo con Tamayo (2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población objeto de estudio. Asimismo, la investigación cuantitativa se fundamenta en analizar una realidad objetiva a partir de mediciones numéricas y análisis estadísticos para determinar predicciones o patrones de comportamiento del problema planteado. Este enfoque utiliza la recolección de datos para comprobar hipótesis, que es importante señalar, que se han planteado con anticipación al proceso metodológico. (Hernández et al, 2006).

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

Métodos y técnicas de investigación son fundamentales e indispensables para el desarrollo de un estudio de cualquier índole. Los métodos indican el camino que se

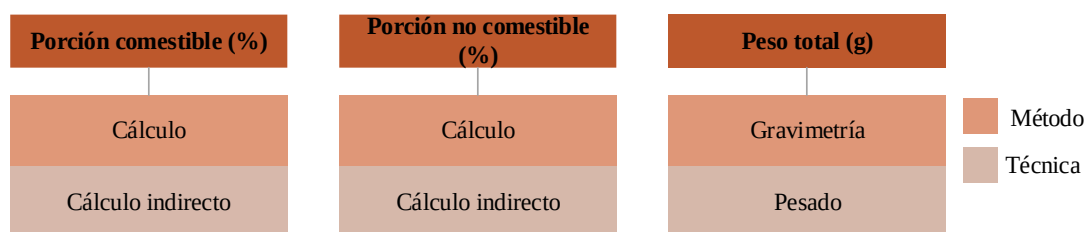
seguirá y son flexibles, mientras que las técnicas muestran cómo se recorrerá ese camino y son rígidas (Chagoya, 2018).

“El método es el conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar el objetivo que se propone la investigación. Estos procedimientos están ordenados lógicamente y cronológicamente, y permiten obtener conocimientos válidos y confiables. El método, por tanto, orienta el proceso desde la formulación del problema hasta la obtención de conclusiones, constituyéndose en la guía estructurada del trabajo científico” (Tamayo y Tamayo, 2004).

“Las técnicas son los procedimientos o formas prácticas de llevar a cabo una actividad. En investigación científica, una técnica es el conjunto de procedimientos específicos que permiten aplicar un método en la recolección, organización o análisis de datos. La técnica, por tanto, se ubica en el nivel operativo del proceso investigativo, siendo el puente entre la teoría metodológica y la aplicación empírica. Los instrumentos son los medios materiales que el investigador utiliza para recoger, registrar o almacenar la información necesaria sobre las variables que desea estudiar. La calidad de los resultados depende, en buena parte, de la adecuación y precisión de los instrumentos empleados” (Tamayo y Tamayo, 2004).

3.5.1 Análisis físico de la col morada

En la Figura 3.1 se presentan los parámetros físicos aplicados a la col morada (*Brassica oleracea*), junto con los métodos y técnicas utilizados durante el análisis. Estos procedimientos se llevaron a cabo en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

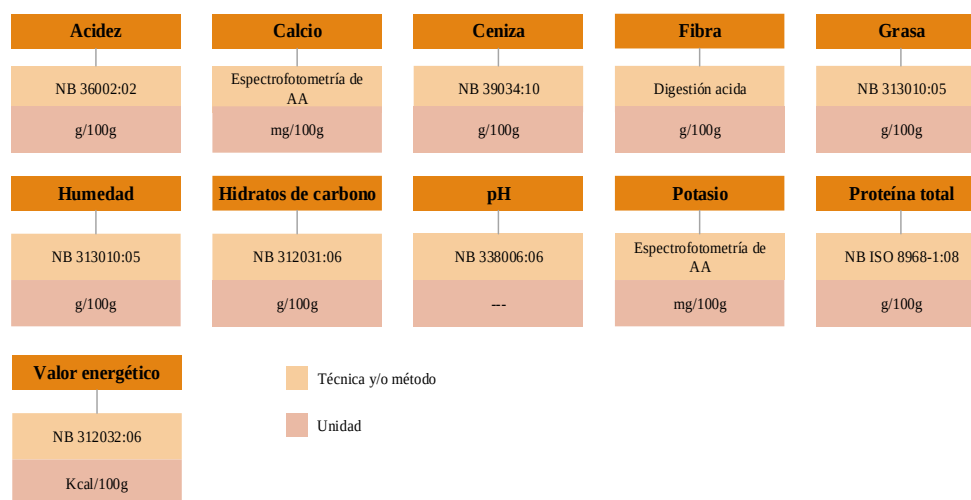


Fuente: LACIA, 2024

Figura 3.1: Análisis físicos de la col morada

3.5.2 Análisis fisicoquímicos de la col morada

En la Figura 3.2 se presentan los parámetros fisicoquímicos aplicados a la col morada (*Brassica oleracea*), así como los métodos y técnicas empleados para su análisis. Dichos procedimientos se llevaron a cabo en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

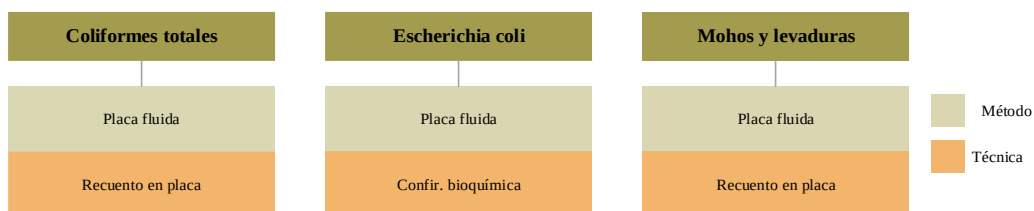


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.2: Análisis fisicoquímicos de la col morada

3.5.3 Análisis microbiológico de la col morada

En la Figura 3.3 se presentan los análisis microbiológicos considerados para la col morada (*Brassica oleracea*), junto con los métodos y técnicas empleados. Estos procedimientos fueron realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

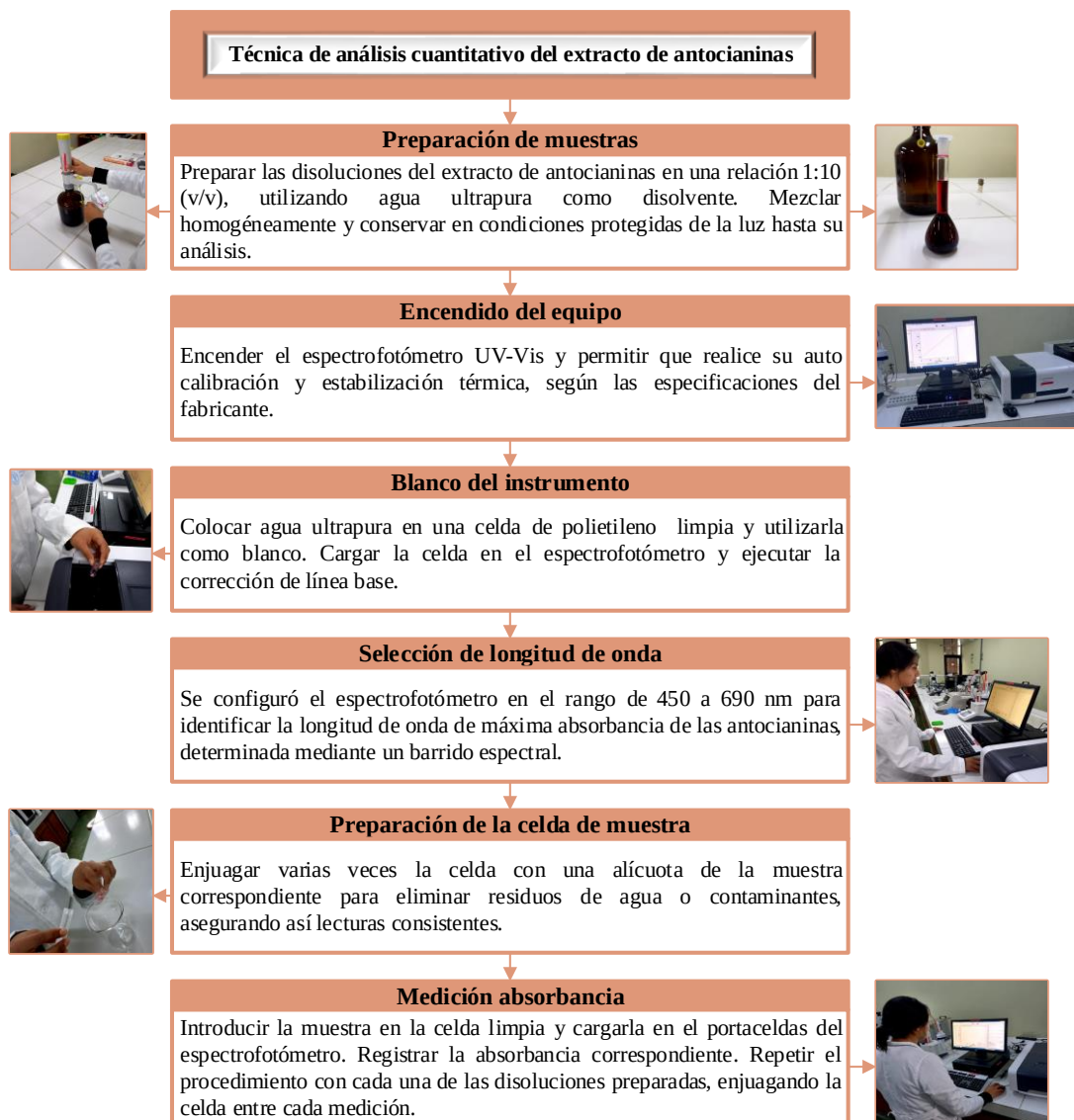


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.3: Análisis microbiológicos de la col morada

3.5.4 Caracterización de la técnica espectrofotométrica del análisis cuantitativo del extracto de antocianina

El análisis cuantitativo del extracto de antocianinas se realizó utilizando el equipo espectrofotómetro UV-Visible, en la Figura 3.4 se muestra la técnica que permite determinar la concentración del extracto de antocianina a partir de la medición de su absorbancia en función de la longitud de onda.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Técnica de análisis cuantitativo del extracto de antocianinas

3.6 Equipos de laboratorio, instrumentos, material de laboratorio y utensilios

Para la realización del presente trabajo de investigación se tomarán en cuenta los siguientes equipos de laboratorio, instrumentos, material de laboratorio y utensilios que se detallan a continuación para el extracto de antocianina.

3.6.1 Equipos de laboratorio

En la Figura 3.5 se detallan las especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio que fueron utilizados para el presente trabajo de investigación, las imágenes de los equipos utilizados se presentan en el (Anexo A).

Espectrofotómetro ^[*]	Baño maria	Centrifuga ^[*]
Marca: Agilent Technologies Modelo: CARY 60 Ancho de banda espectral : 1,5 nm Rango de longitud de onda: 190-1100nm Exactitud de longitud de onda: $\pm 0,5\text{nm}$ Reproducibilidad de onda: $\pm 0,1\text{nm}$ Energía: 220V	Marca: Nahita Modelo: Model 601 Capacidad: 12L Potencia: 1000W Corriente alterna: 220V-50Hz Industria: China	Marca: HETTICH-BOECO Modelo: U-320 Velocidad: 15,000 rpm Dimensiones: 260x275x344ml Peso neto: 11,5kg Industria: Alemana
Freezer		
Marca: LABCOLD Conexión: Eléctrica Frecuencia: 50/60 Hz		

Fuente: LACIA, 2024; LSFCA y F,2025^[*]

Figura 3.5: Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

En la Figura 3.6 se detallan las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio que serán utilizados para el presente trabajo de investigación, las imágenes de los instrumentos de laboratorio utilizados se presentan en el (Anexo A).



Fuente: LACIA, 2024; LSFCA y F,2025^[*]
Figura 3.6: Especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio

3.6.3 Material de laboratorio

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales de laboratorio que se detallados en la Tabla 3.1, las imágenes del material de laboratorio utilizados se presentan en el (Anexo A).

Tabla 3.1

<i>Material de laboratorio</i>			
Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo
Termómetro de alcohol	1	100°C	Vidrio
Espátula	1	Mediana	Metálica
Varilla	2	Mediana	Vidrio
Probeta	1	25ml	Vidrio
Embudo	2	100ml	Plástico
Vidrio reloj	4	Grande	Vidrio
Probeta	2	100ml	Vidrio
Vaso de precipitado	8	600ml	Vidrio
Tubos de ensayo	16	20ml	Plástico
Papel filtro	4	50 x 50cm	Celulosa
Gradilla	1	Mediano	Plástico
Puntas	16	Pequeñas	Plástico
Celdas	4	1ml	Polipropileno
Matraz aforado	1	100ml	Vidrio

Fuente: LACIA, 2025

3.6.4 Utensilios de cocina

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes utensilios de cocina que se detallados en la Tabla 3.2, las imágenes de los utensilios de cocina utilizados se presentan en el (Anexo A).

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

Utensilios	Cantidad	Capacidad	Tipo de material
Cuchillo	1	Mediano	Acero inoxidable
Cuchara	1	Mediano	Acero inoxidable
Bol	2	Mediano	Acero inoxidable

Fuente: LACIA, 2025

3.6.5 Reactivos químicos

En la Tabla 3.3, se detallan las características de los reactivos químicos que fueron utilizados para el extracto de antocianina.

Tabla 3.3

Características de reactivos químicos

Reactivos	Procedencia	Concentración	Marca
Etanol	Boliviana	96%	AlcoSur
Ácido clorhídrico	Boliviana	1%	EMSURE

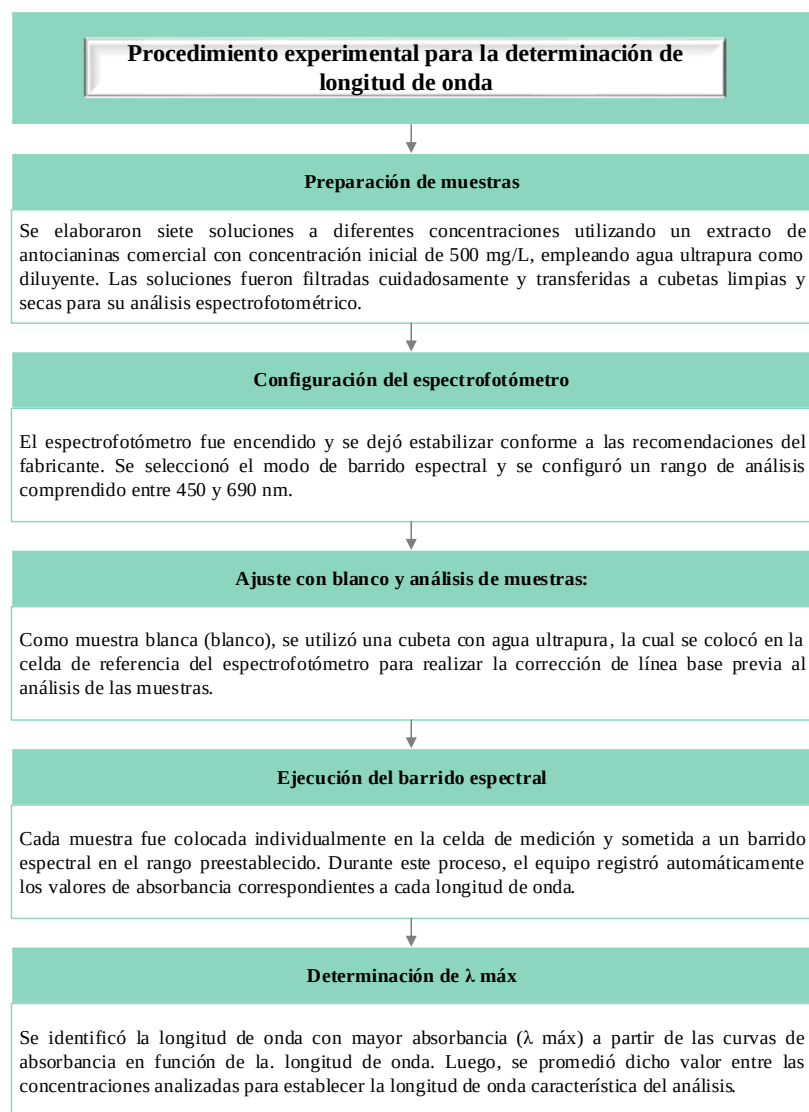
Fuente: Elaboración propia

3.7 Caracterización del procedimiento experimental del extracto de antocianina

Para la caracterización del procedimiento experimental del extracto de antocianina, se describen a continuación los procedimientos experimentales realizados durante su desarrollo.

3.7.1 Procedimiento experimental para la determinación de longitud de onda máxima del extracto de antocianina comercial

En la Figura 3.7 se muestra el procedimiento experimental para la determinación de longitud de onda máxima del extracto de antocianina comercial, las imágenes del procedimiento explicados paso a paso se presentan en el (Anexo B).

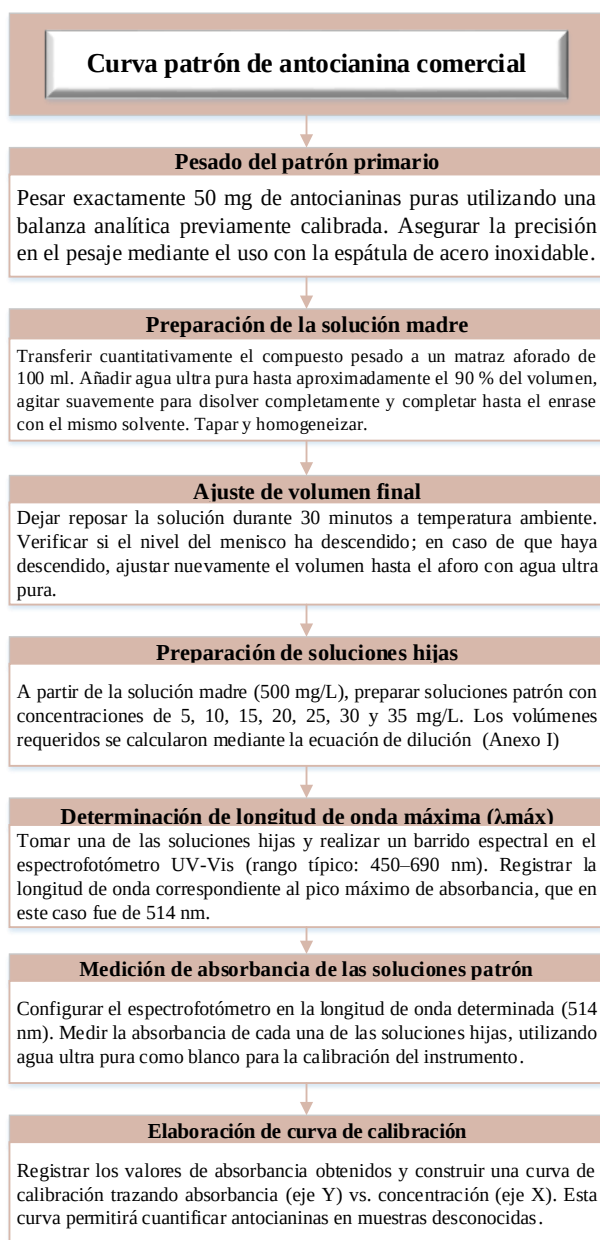


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Procedimiento para determinación de longitud de onda máxima del extracto de antocianina comercial

3.7.2 Procedimiento experimental para la determinación de curva patrón del extracto de antocianina comercial

En la Figura 3.8 se muestra el procedimiento experimental para la determinación de curva patrón del extracto de antocianina comercial, las imágenes del procedimiento explicados paso a paso se presentan en el (Anexo C).

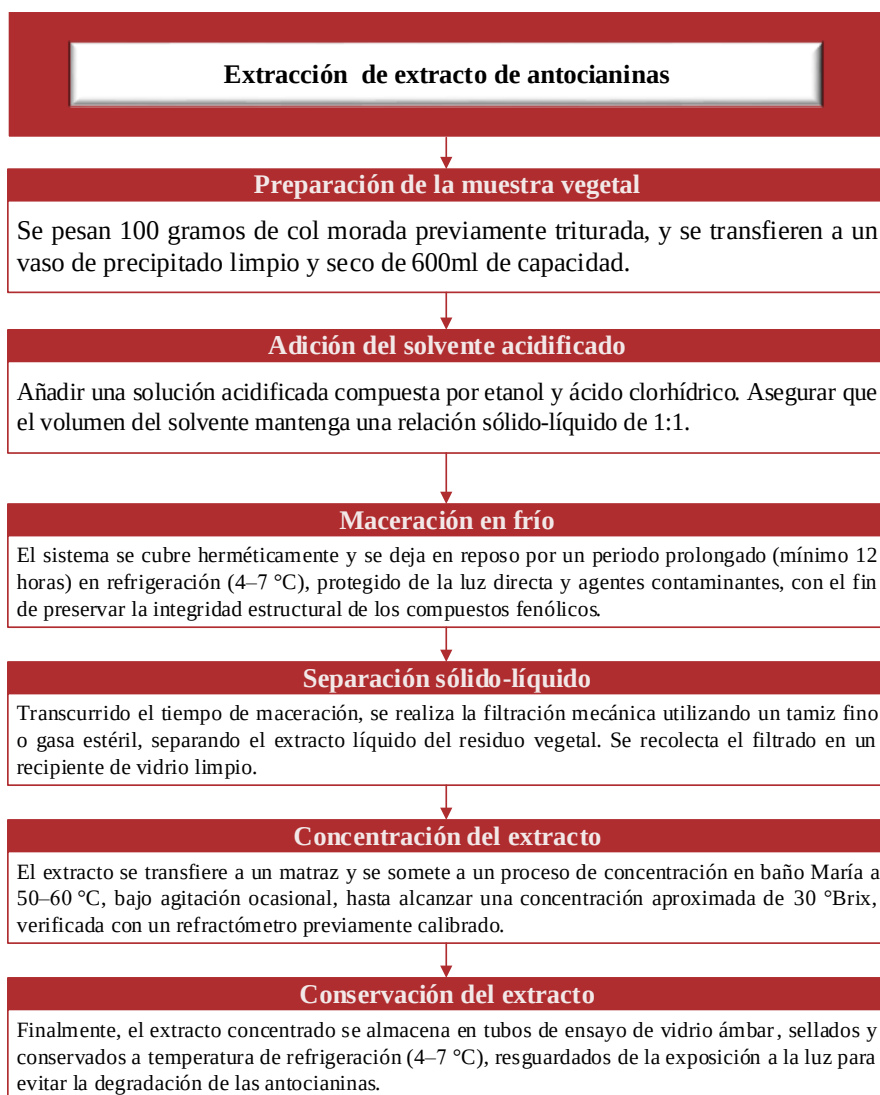


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Procedimiento de determinación de curva patrón de extracto comercial

3.7.3 Procedimiento experimental para la extracción de extracto de antocianinas

En la Figura 3.9 se muestra el procedimiento experimental para la extracción de extracto de antocianinas, las imágenes del procedimiento explicados paso a paso se presentan en el (Anexo D).

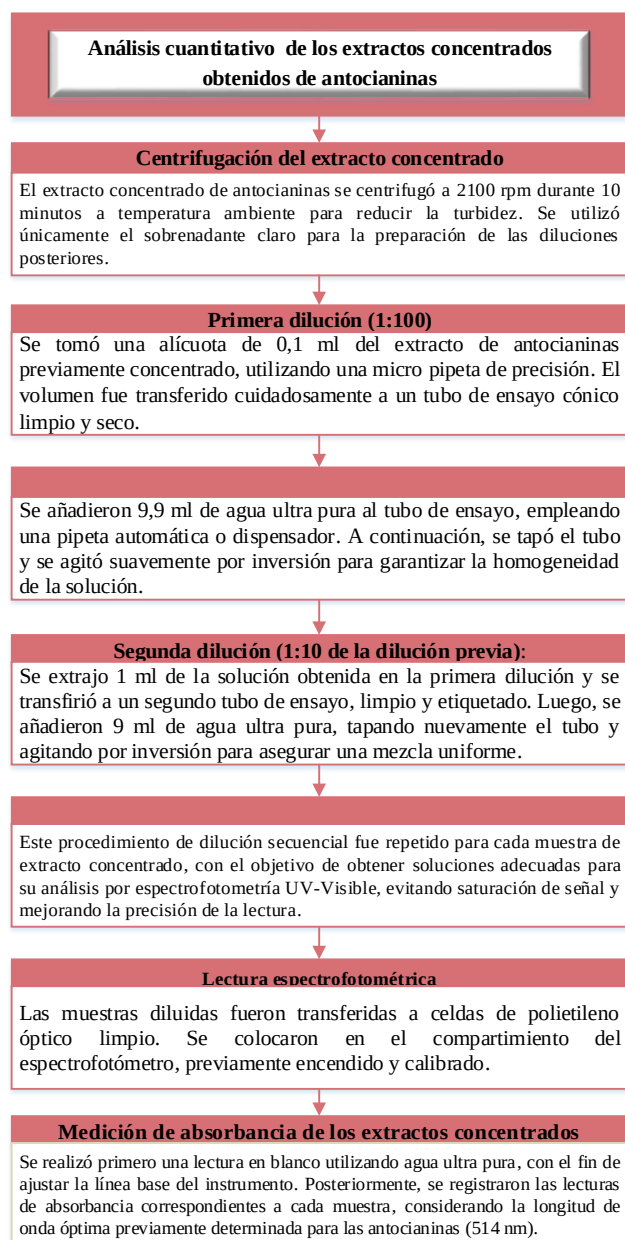


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Procedimiento para la obtención de extracto de antocianinas

3.7.4 Procedimiento experimental para el análisis cuantitativo de extractos de antocianinas

En la Figura 3.10 se muestra el procedimiento experimental para el análisis cuantitativo de extractos concentrados de antocianinas, las imágenes del procedimiento explicados paso a paso se presentan en el (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Procedimiento de caracterización de extracto de antocianinas

3.8 Diseño experimental

Según Montgomery (2017) "El diseño experimental se refiere al proceso de planificación de un experimento para asegurar que los datos obtenidos pueden ser analizados para extraer conclusiones válidas y objetivas. Incluye la selección de factores, niveles, y la estructura de tratamientos"(p. 45).

"El diseño experimental es una metodología utilizada para organizar, realizar y analizar experimentos, con el objetivo de controlar y reducir la variabilidad y determinar la relación entre las variables independientes y dependientes" (Cox y Reid, 2000, p. 15).

3.8.1 Diseño factorial

"El diseño factorial es una técnica experimental que permite estudiar el efecto de dos o más factores simultáneamente, identificando no solo los efectos principales de cada factor sino también las posibles interacciones entre ellos" (Montgomery, 2017, p. 175). Según Cochran y Cox (1992) "En un diseño factorial, todos los posibles niveles de los factores se combinan en todas las formas posibles, permitiendo una evaluación completa de los efectos individuales y conjuntos de los factores sobre la variable de respuesta" (p. 142).

En un diseño factorial 2^k , el modelo de regresión permite expresar la variable de respuesta como una función lineal de los factores codificados y sus interacciones. Cuando se tienen tres factores (A, B y C), cada uno con dos niveles, el modelo incluye todos los efectos principales, interacciones de segundo orden y la interacción triple. Este modelo es útil no solo para estimar efectos, sino también para predecir respuestas dentro del espacio experimental y realizar análisis estadísticos como ANOVA o verificación de significancia de efectos (Montgomery, 2019).

La forma general del modelo para $k=3$ factores es:

$$Y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C + \beta_{AB} X_A X_B + \beta_{AC} X_A X_C + \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C + \varepsilon \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

Y: variable respuesta	β_{AB}, β_{AC}, β_{BC}: efectos de interacción doble
$X_A X_B X_C$: variables codificadas (+1-1)	β_{ABC}: efectos de interacción triple
β_0: intercepto (media general)	ε: error aleatorio
β_A, β_B, β_C: efectos principales	

Este modelo es especialmente poderoso en experimentos donde se desea evaluar simultáneamente los efectos de múltiples variables y sus combinaciones, maximizando la información con un número reducido de experimentos.

3.8.1.1 Diseño factorial 2^3 para el extracto de antocianinas

En el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño experimental para el extracto de antocianinas de acuerdo la ecuación 3.2.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ Tratamientos (pruebas)} \quad \textbf{(Ecuación 3.2)}$$

Con este fin, se han planteado diversas variables y los niveles de variación son los siguientes:

A=Tiempo de maceración (h)	(2 niveles)
B=Temperatura de evaporación (°C)	(2 niveles)
C= pH	(2 niveles)

En la Tabla 3.4, se presenta la matriz de diseño factorial que fue utilizado en el extracto de antocianina conformado por tres variables independientes: Tiempo de maceración (A), Temperatura de evaporación (B), pH (C) y como variable dependiente: Rendimiento (Y_i) de extracto de antocianina expresado en [%], El experimento se realizó con tres réplicas para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Tabla 3.4

Matriz experimental para el extracto de antocianinas

Combinaciones	Factores			Interacción			Respuesta		
	A	B	C	AB	AC	BC	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
(1)	-	-	-	+	+	+	Y _{i11}	Y _{i21}	Y _{i31}
a	+	-	-	-	-	+	Y _{i12}	Y _{i22}	Y _{i32}
b	-	+	-	-	+	-	Y _{i13}	Y _{i23}	Y _{i33}
ab	+	+	-	+	-	-	Y _{i14}	Y _{i24}	Y _{i34}
c	-	-	+	+	-	-	Y _{i15}	Y _{i25}	Y _{i35}
ac	+	-	+	-	+	-	Y _{i16}	Y _{i26}	Y _{i36}
bc	-	+	+	-	-	+	Y _{i17}	Y _{i27}	Y _{i37}
abc	+	+	+	+	+	+	Y _{i18}	Y _{i28}	Y _{i38}

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_{i1}= Rendimiento del extracto de antocianina 1 [%]Y_{i2}= Rendimiento del extracto de antocianina 2 [%]Y_{i3}= Rendimiento del extracto de antocianina 3 [%]

En la Tabla 3.5 se presenta la variación de factores (nivel alto y bajo) que fueron aplicados en el extracto de antocianinas conformado por las tres variables: Tiempo de maceración (A), temperatura de evaporación (B) y pH (C).

Tabla 3.5

Niveles de variación de los factores para el extracto de antocianinas

Variables	Unidad	Nivel inferior	Superior
Tiempo de maceración (A)	h	6	12
Temperatura de evaporación (B)	°C	55	60
pH (C)	---	1,0	2,0

Fuente: Elaboración propia

3.9 Operacionalización de variables para el extracto de antocianinas

En el Tabla 3.6 se presenta la operacionalización de las variables dependiente e independiente del extracto de antocianina en la col morada.

Tabla 3.6

Operacionalización de las variables para la obtención de extracto de antocianinas

Hipótesis	Variables		Definición	Dimensiones	Indicadores
La aplicación del método de extracción sólido-líquido por maceración permitirá obtener extracto de antocianinas a partir de col morada (<i>Brassica oleracea</i>) en la provincia Cercado de Tarija, logrando maximizar el rendimiento.	Variable dependiente	Extracto de antocianinas	Según Giusti y Wrolstad (2003) "El extracto de antocianinas es un concentrado de pigmentos flavonoides obtenidos de plantas, utilizado principalmente como colorante natural debido a sus propiedades antioxidantes"(p. 163).	Método refractométrico	Rendimiento [%]
				Absorbancia	---
				Transmitancia	%
	Variable independiente	Método de extracción por maceración	"La extracción por maceración es un método en el que el material vegetal se sumerge en un solvente a temperatura ambiente para extraer sus componentes solubles" (Handa et al, 2008, p. 24).	Tiempo de maceración	Horas
				Temperatura de evaporación	°C
				pH	---

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la col morada

Para realizar la caracterización de la col morada, se tomaron en cuenta las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas que se detalla a continuación:

4.1.1 Caracterización física de la col morada

En la Figura 4.1, se presentan las quince muestras de col morada seleccionadas aleatoriamente al azar, sobre las cuales se realizaron el análisis físico con el fin de determinar porción comestible y no comestible en cada muestra (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.1: Muestras de col morada

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados promedio de los parámetros físicos de la col morada, obtenidos a partir de quince muestras. Se incluyen los valores de peso total, peso comestible y peso no comestible. Asimismo, porción comestible y no comestible de datos extraídos de la Tabla F.1, (Anexo F).

Tabla 4.1

Parámetros físicos de la col morada

Componentes	Unidad	Valor
Peso total	g	279,59
Peso comestible	g	159,23
Peso no comestible	g	117,88
Porción comestible	%	56,35
Porción no comestible	%	42,75

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1 se presentan los promedios obtenidos del análisis físico de la col morada. Los resultados indican que el peso total promedio es 279,59 g, de los cuales 159,23 g corresponden a la porción comestible y 117,88 g a la porción no comestible. Asimismo, al calcular el porcentaje promedio de cada fracción con respecto al peso total, se observa que la porción comestible representa el 56,35 %, mientras que la no comestible 42,75 %.

4.1.2 Análisis fisicoquímico de col morada

La Tabla 4.2, presenta los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la col morada de datos extraídos del (Anexo G).

Tabla 4.2

Parámetros fisicoquímicos de la col morada

Componentes	Unidad	Resultados
Acidez	g/100g	0,27
Calcio	mg/100g	24
Ceniza	g/100g	0,97
Fibra	g/100g	1,10
Grasa	g/100g	0,07
Humedad	g/100g	88,04
Hidratos de carbono	g/100g	8,26
pH	---	6,79
Potasio	mg/100g	457
Proteína total (N × 6,25)	g/100g	2,66
Valor energético	Kcal/100g	44

Fuente: CEANID, 2024

En la Tabla 4.2 se observan los resultados de los análisis fisicoquímicos de la col morada indica: acidez 0,27 g/100 g, calcio 24 mg/100 g, cenizas 0,97 g/100 g, fibra 1,10 g/100 g, grasa 0,07 g/100 g, humedad 88,04 g/100 g, hidratos de carbono 8,26 g/100 g, pH 6,79, potasio 457 mg/100 g, proteína total ($N \times 6,25$) 2,66 g/100 g y valor energético de 44 Kcal/100 g.

4.1.3 Análisis microbiológico de la col morada

En la Tabla 4.3, se presenta los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la col morada de datos extraídos del (Anexo G).

Tabla 4.3

Propiedades microbiológicas de la col morada

Microorganismos	Unidad	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	$3,6 \times 10^3$
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes fecales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)

(*) no se observan desarrollo de colonias

Fuente: CEANID, 2025

En la Tabla 4.3, se observan los resultados del análisis microbiológico de la col morada indica: coliformes totales $3,6 \times 10^3$ UFC/g, *Escherichia coli* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g y coliformes fecales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g.

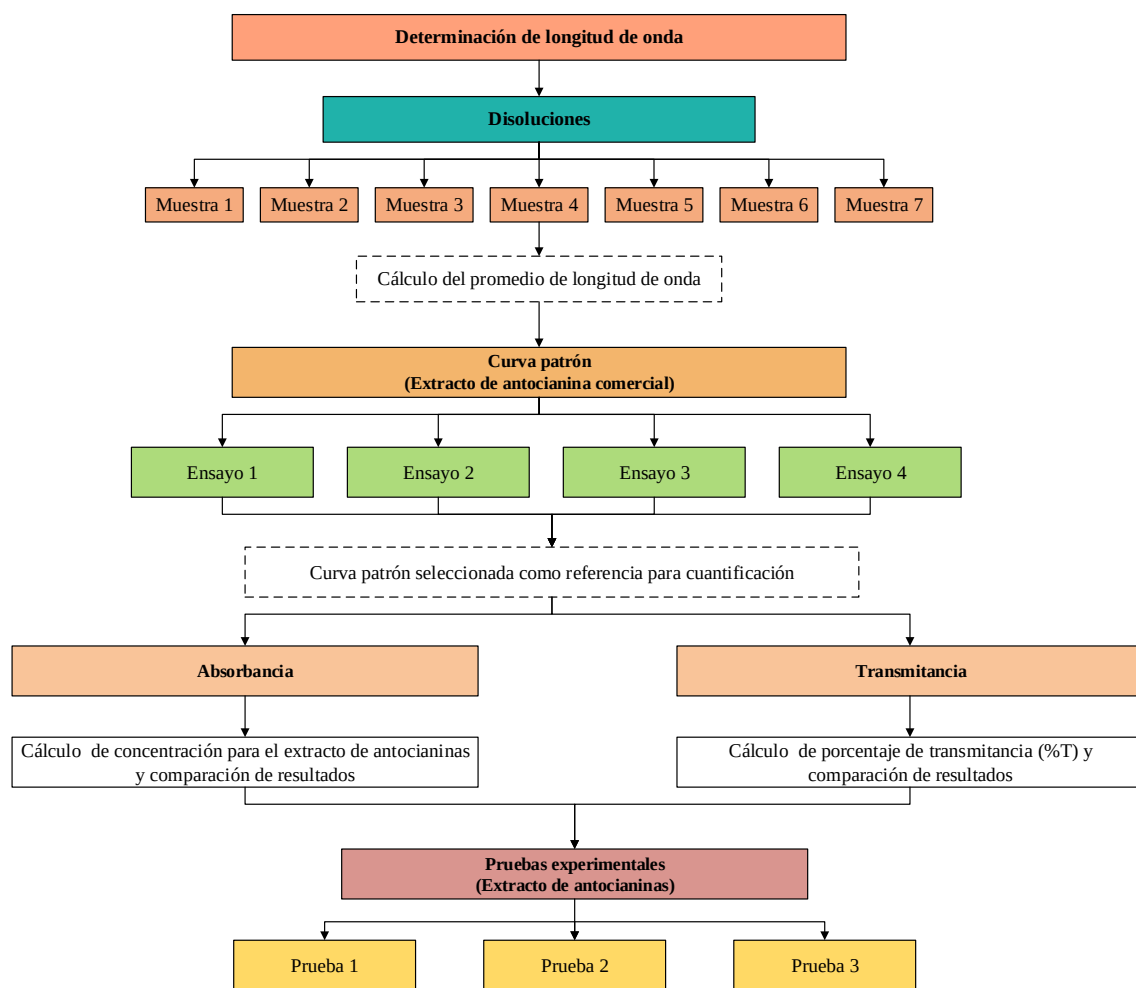
4.2 Caracterización de variables para el extracto de antocianina de col morada

Para la caracterización de la variable para el extracto de antocianinas de col morada, se tomó en cuenta los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

4.2.1 Metodología de análisis cuantitativo para las pruebas experimentales del extracto de antocianina

En la Figura 4.2 se presenta la metodología aplicada experimental para el análisis cuantitativo del extracto de antocianinas en la col morada. Iniciando, con la determinación de la longitud de onda máxima del extracto de antocianina comercial, para lo cual se prepararon siete muestras de disolución madre (muestra 1, muestra 2, muestra 3, muestra 4, muestra 5, muestra 6 y muestra 7). Posteriormente, se determinó

la curva patrón utilizando cuatro ensayos (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3 y ensayo 4) en base a las siete muestras de la disolución madre. Finalmente, se realizaron tres pruebas experimentales (prueba 1, prueba 2 y prueba 3) por refractometría con la finalidad de determinar absorbancia y transmitancia (rendimiento), en función a la curva patrón.



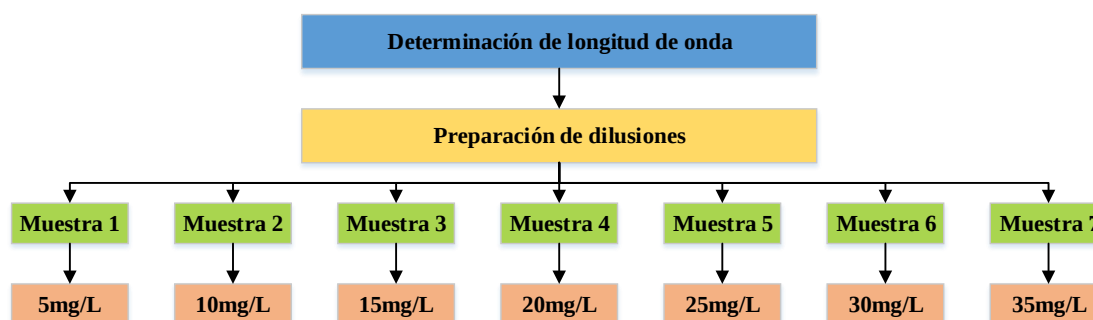
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Metodología experimental aplicada del extracto de antocianinas

4.2.2 Determinación de la longitud de onda máxima del extracto de antocianina comercial

Debido a la ausencia de un punto de referencia estandarizado de longitud de onda máxima para el extracto de antocianina, se realizó un barrido espectral utilizando un espectrofotómetro UV. Este procedimiento consistió en preparar siete muestras (muestra 1, muestra 2, muestra 3, muestra 4, muestra 5, muestra 6 y muestra 7) con

concentraciones diluidas entre (5-35) mg/L, a partir de extracto madre de antocianina comercial (Figura 4.3); con la finalidad de identificar el pico máximo longitud de onda en cada muestra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Disoluciones de solución madre

En la Tabla 4.4 se muestran los picos máximos de absorbancia correspondientes de diferentes concentraciones del extracto comercial de antocianinas, registrándose para cada muestra el valor de longitud de onda máxima (nm), de datos extraídos del (Anexo H).

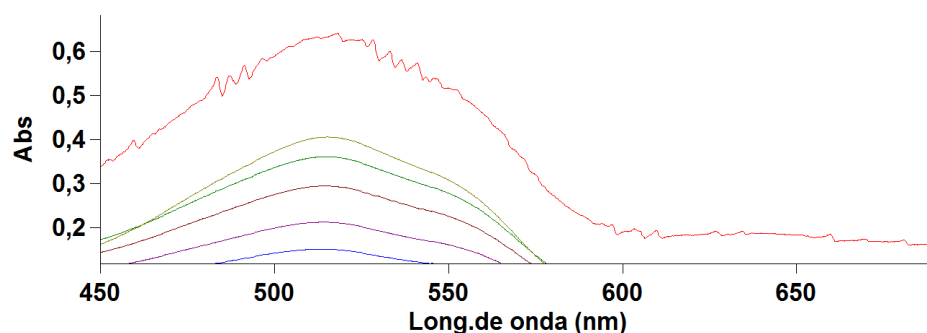
Tabla 4.4

Determinación de longitud de onda

Concentración (mg/L)	Absorbancia	Longitud de onda (nm)
5	0,082	510,5
10	0,151	513,2
15	0,213	514,2
20	0,295	514,9
25	0,361	514,7
30	0,406	514,9
35	0,641	518,0
Promedio $\bar{x}$		514,0

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.4, se presenta el barrido espectral de extracto de antocianina comercial en función de la absorbancia (Abs) del extracto comercial de antocianina y longitud de onda (Long. de onda) nm, de los datos extraídos del (Anexo H).

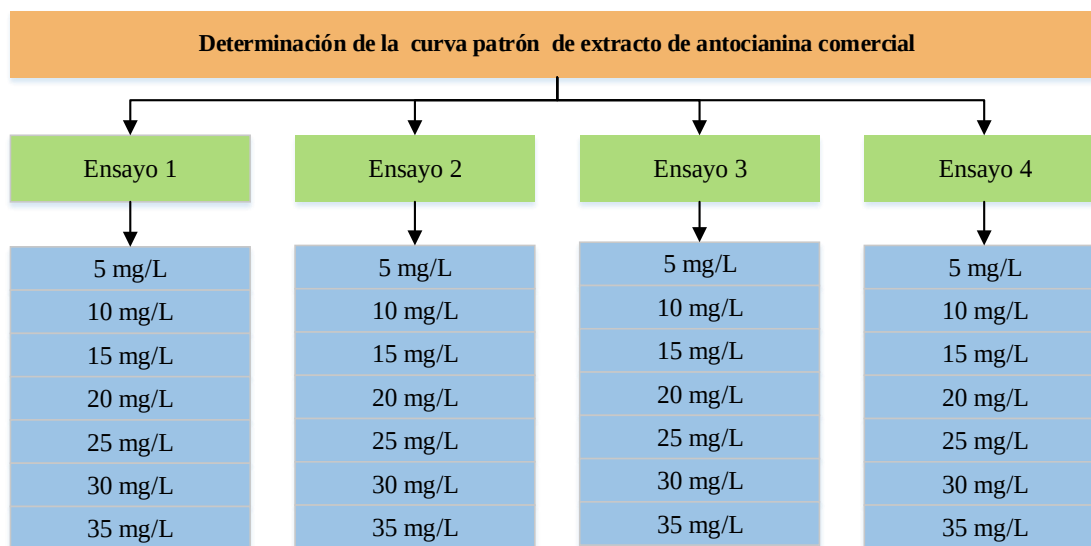


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Barrido espectral de extracto de antocianina comercial

4.2.3 Determinación de la curva patrón para el extracto de antocianina comercial

En la Figura 4.5, se muestra el procedimiento para la determinación de curva patrón de extracto de antocianina comercial; donde se realizaron cuatro ensayos independientes (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3 y ensayo 4), cada uno con siete concentraciones estándar (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35) mg/L con la finalidad de establecer una relación lineal entre concentración y absorbancia del extracto de antocianina, detallados en el (Anexo I).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Diluciones para el extracto de antocianina comercial

4.2.3.1 Curva patrón de absorbancia del extracto comercial de antocianina para el ensayo 1

En la Tabla 4.5, se muestran los valores obtenidos de absorbancia en función de las concentraciones de extracto de antocianina comercial para el ensayo 1 de datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo J.1)

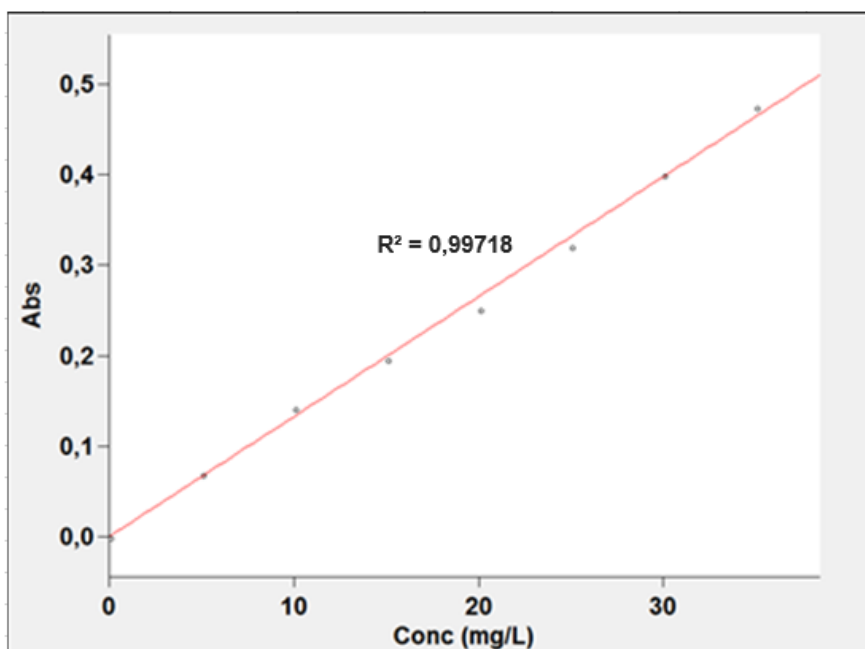
Tabla 4.5

Concentración en función de la absorbancia para el ensayo 1

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	-0,0001
5	0,0692
10	0,1424
15	0,1966
20	0,2521
25	0,3213
30	0,4004
35	0,4756

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.6 se muestran los datos de absorbancia (Abs) en función de la concentración (Conc) de datos extraídos de la Tabla 4.4, utilizando el Software Cary WinUV del (Anexo J.1)



Fuente: Software Cary UV, 2025.

Figura 4.6: Ajuste de linealidad para el ensayo 1

Según la Figura 4.6 se muestra el ajuste de linealidad para el ensayo 1 de acuerdo a los datos extraídos de la Tabla 4.4, con coeficiente de correlación lineal de $R^2 = 0,99718$ (Anexo J.1) lo que indica una fuerte relación entre absorbancia y concentración del extracto de antocianina comercial.

4.2.3.2 Curva patrón de absorbancia del extracto comercial de antocianina para el ensayo 2

En la Tabla 4.6, se muestran los valores obtenidos de absorbancia de acuerdo a las concentraciones correspondientes para el ensayo 2 de datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo J.2).

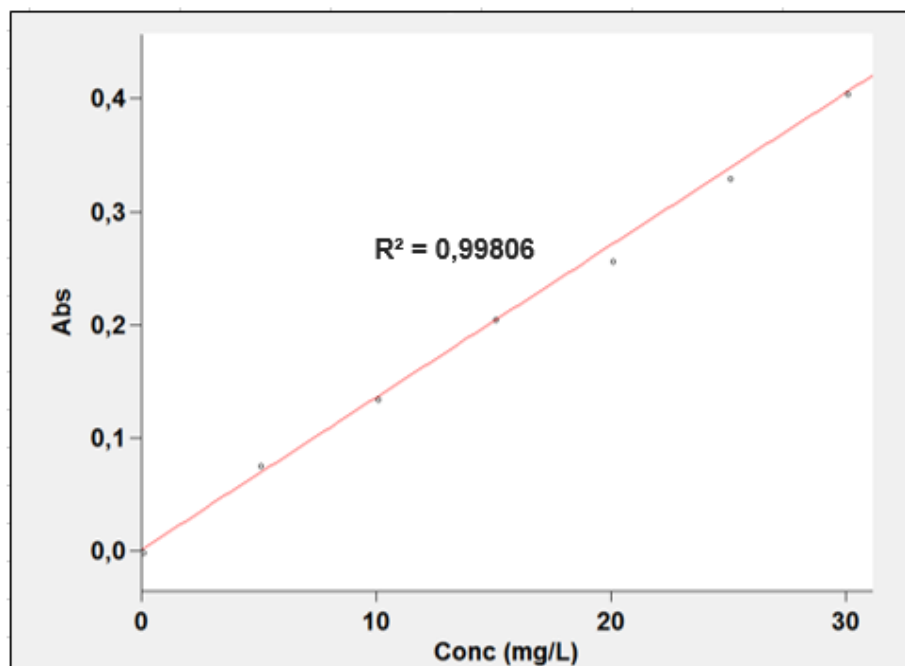
Tabla 4.6

Concentración en función de la absorbancia para el ensayo 2

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	0,0001
5	0,0763
10	0,1354
15	0,2056
20	0,258
25	0,3306
30	0,4057
35	0,4822

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.7, se muestran los datos de absorbancia (Abs) en función de la concentración (Conc) de datos extraídos de la Tabla 4.5, utilizando el Software Cary WinUV de (Anexo J.2).



Fuente: Software Cary UV, 2025.

Figura 4.7: Ajuste de linealidad para el ensayo 2

Según la Figura 4.7, se muestran el ajuste de linealidad para el ensayo 2 de acuerdo a los datos extraídos de la Tabla 4.5, con coeficiente de correlación lineal $R^2 = 0,99806$

(Anexo J.2) lo que indica una fuerte relación entre absorbancia y concentración del extracto de antocianina comercial.

4.2.3.3 Curva patrón de absorbancia del extracto comercial de antocianina para el ensayo 3

En la Tabla 4.7, se muestran los valores obtenidos de absorbancia de acuerdo a las concentraciones correspondientes para el ensayo 3 de datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo J.3).

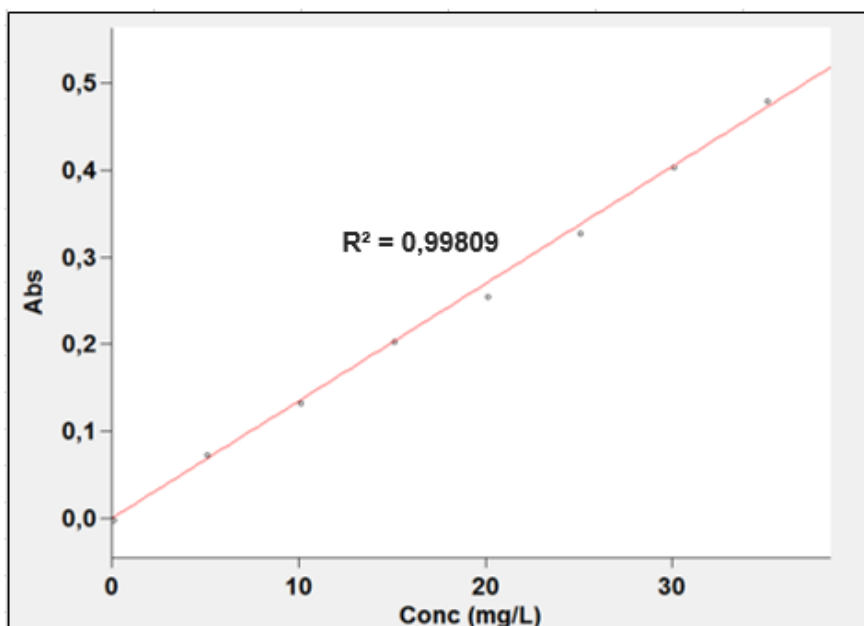
Tabla 4.7

Concentración en función de la absorbancia para el ensayo 3

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	-0,0001
5	0,0755
10	0,1343
15	0,2045
20	0,2571
25	0,3297
30	0,4051
35	0,4809

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.8, se muestran los datos de absorbancia (Abs) en función de la concentración (Conc) de datos extraídos de la Tabla 4.6, utilizando el Software Cary WinUV de (Anexo J.3).



Fuente: Software Cary UV, 2025.

Figura 4.8: Ajuste de linealidad para el ensayo 3

Según la Figura 4.8, se muestra el ajuste de linealidad para el ensayo 3 de acuerdo a los datos extraídos de la Tabla 4.6, con coeficiente de correlación $R^2 = 0,99809$ (Anexo J.3) lo que indica una fuerte relación entre la absorbancia y concentración del extracto de antocianina comercial.

4.2.3.4 Curva patrón de absorbancia del extracto comercial de antocianina para el ensayo 4

En la Tabla 4.8, se muestran los valores obtenidos de absorbancia de acuerdo a las concentraciones correspondientes para el ensayo 4, datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo J.4).

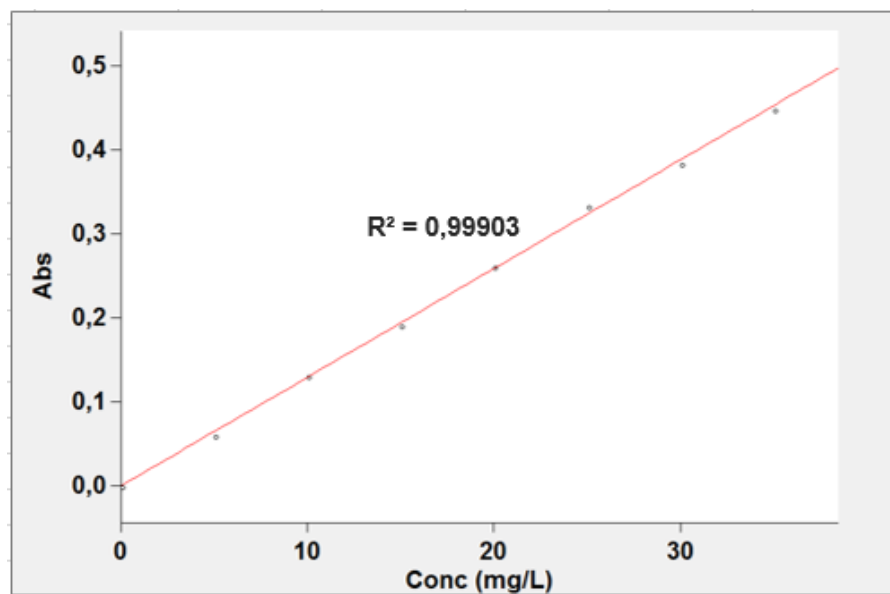
Tabla 4.8

Concentración en función de la absorbancia para el ensayo 4

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	-0,0001
5	0,0601
10	0,1308
15	0,1913
20	0,261
25	0,3336
30	0,3846
35	0,4484

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9, se muestran los datos de absorbancia (Abs) en función de la concentración (Conc) de datos extraídos de la Tabla 4.7, utilizando el Software Cary UV de (Anexo J.4).



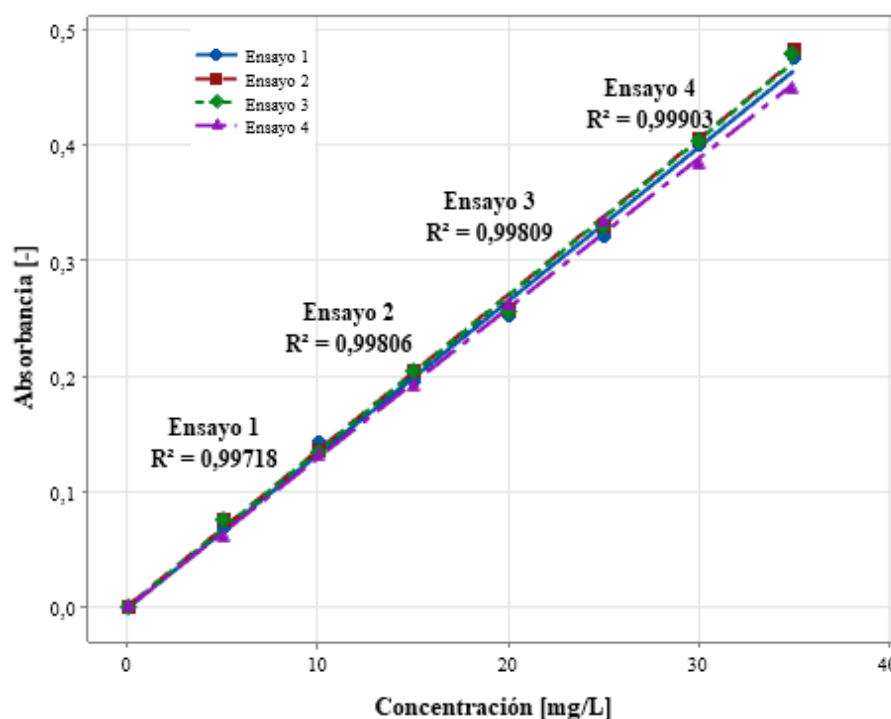
Fuente: Software Cary UV, 2025.

Figura 4.9: Ajuste de linealidad para el ensayo 4

Según la Figura 4.9, se muestra el ajuste de linealidad para el ensayo 4 de acuerdo a los datos extraídos de la Tabla 4.7, con coeficiente de correlación lineal $R^2 = 0,99903$ (Anexo J.4) lo que indica una fuerte relación entre absorbancia y concentración del extracto de antocianina comercial.

4.2.3.5 Selección la curva patrón de absorbancia para el extracto de antocianina comercial

Con la finalidad de seleccionar la curva patrón más adecuada para el extracto de antocianina comercial, se tomó en cuenta los resultados de absorbancia y concentración; de acuerdo a la Tabla 4.5 (ensayo 1), Tabla 4.6 (ensayo 2), Tabla 4.7 (ensayo 3) y Tabla 4.8 (ensayo 4). En la Figura 4.10, se observa la comparación del coeficiente de correlación utilizando el paquete estadístico Excel 2016 por Windows 10.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.10: Comparación del coeficiente de correlación de los cuatro ensayos

Según la Figura 4.10, se observa el ajuste de linealidad correspondiente de los cuatro ensayos (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3 y ensayo 4) de extracto de antocianina comercial. En donde cada modelo matemático presenta un coeficiente de correlación diferente de cada ensayo: ensayo 1 ($R^2 = 0,99718$), ensayo 2 ($R^2 = 0,99806$), ensayo 3 ($R^2 = 0,99809$) y ensayo 4 ($R^2 = 0,99903$). Al comparar los resultados según los coeficientes de linealidad, se puede observar que el ensayo 4 muestra el coeficiente ($R^2 = 0,99903$), indicando que presenta un ajuste lineal y más cercano a 1. Por lo tanto,

el análisis del ajuste de linealidad para el ensayo 4 será tomado en cuenta como referencia para la determinación de porcentaje de transmitancia.

4.2.4 Factores experimentales para determinar niveles del extracto de antocianina en col morada

Consultada la bibliografía para la extracción de antocianinas en col morada, en el cual no existen condiciones de los factores establecidos a nivel experimental. Para tal efecto, se tomaron en cuenta: Enaru et al. (2021), que indica que las antocianinas su estabilidad del pH de la solución de etanol (90%) acidificado debe ser en condiciones acidas (pH=1). En tal sentido, se trabajaron a pH entre (1,0 ;1,5 y 2,0). Por otro lado, Liu et al. (2018), señala que temperaturas superiores a 60°C provocan la degradación de estos compuestos, señalando que para las pruebas preliminares se tomaron en cuenta entre (50, 55 y 60) °C. Finalmente, para el tiempo de maceración en frío del extracto de antocianina se tomó en cuenta, según Panprivech et al. (2015), citado en su artículo “*Investigating the Effect of Cold Soak Duration on Phenolic Extraction during Cabernet Sauvignon Fermentation*” que evaluó diferentes tiempos de maceración en frío (0, 1, 4, 7 y 10 días), en donde no se observó diferencias significativas en los fenoles.

De esta manera se tomaron en cuenta los tiempos de maceración entre (6, 12 y 16) horas, temperatura entre (50, 55 y 60) °C y pH entre (1.0 ,1.5 y 2.0), según la Tabla 4.9 para el desarrollo de pruebas preliminares para el extracto de antocianina.

Tabla 4.9

Factores y niveles del extracto de antocianina

	Factores		
	Tiempo de maceración	Temperatura de evaporación	pH
	[Horas]	[°C]	
Niveles	6	50	1,0
	12	55	1,5
	16	60	2,0

Fuente: Elaboración propia

A partir de los factores y niveles según la Tabla 4.9, se procedió a tomar en cuenta tres tiempos de maceración, a diferentes temperaturas de evaporación y pH (Tabla 4.10). Para tal efecto, se prepararon veintisiete pruebas preliminares de extracto de antocianina de col morada concentrada; con la finalidad de evaluar el rendimiento descartando los niveles menos favorables y tomando en cuenta los más favorables de mayor rendimiento del extracto.

Tabla 4.10

Pruebas preliminares de extracto de antocianina

Muestras	Tiempo de maceración [Hora]	Temperatura evaporación [°C]	pH	Rendimiento [%]
1	6	60	1,0	0,1073
2	12	60	1,0	0,1414
3	16	60	1,0	0,0644
4	6	60	2,0	0,1227
5	12	60	2,0	0,1105
6	16	60	2,0	0,0540
7	6	60	1,5	0,0570
8	12	60	1,5	0,0625
9	16	60	1,5	0,0357
10	6	50	1,0	0,0347
11	12	50	1,0	0,0380
12	16	50	1,0	0,0447
13	6	50	2,0	0,0500
14	12	50	2,0	0,0317
15	16	50	2,0	0,0368
16	6	50	1,5	0,0583
17	12	50	1,5	0,0520
18	16	50	1,5	0,0500
19	6	55	1,0	0,0707
20	12	55	1,0	0,0774
21	16	55	1,0	0,0754
22	6	55	2,0	0,0470
23	12	55	2,0	0,0625
24	16	55	2,0	0,0398
25	6	55	1,5	0,1318
26	12	55	1,5	0,1227
27	16	55	1,5	0,1105

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.1 Evaluación del tiempo de maceración del extracto de antocianina

En la Tabla 4.11, se muestran el valor del rendimiento promedio del extracto de antocianina obtenido a diferentes tiempos de maceración (6, 12 y 16) horas en base a las pruebas preliminares (Tabla 4.10), estos resultados permitieron comparar la influencia de cada tiempo utilizando el espectrofotómetro Cary UV.

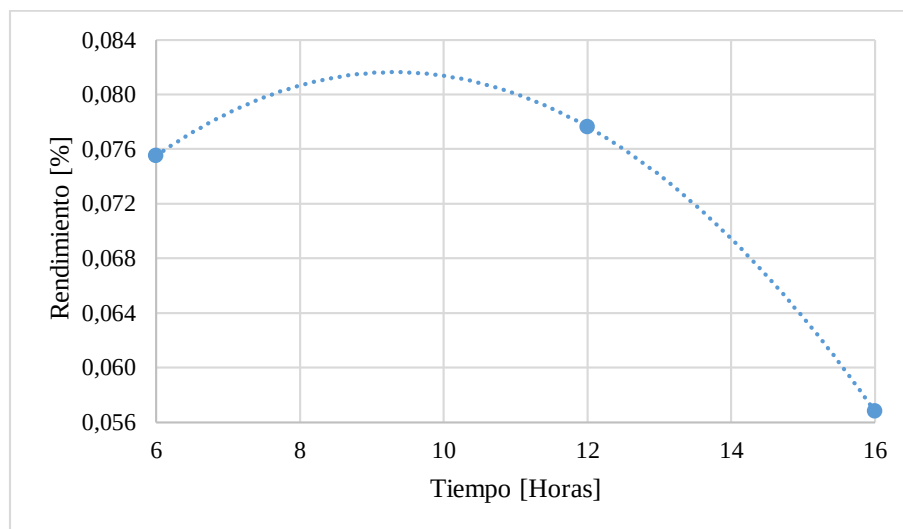
Tabla 4.11

Rendimiento promedio en función del tiempo de maceración

Tiempo de maceración [Horas]	Rendimiento promedio [%]
6	0,076
12	0,078
16	0,057

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.11, se observan los valores rendimiento promedio en función del tiempo de maceración del extracto de antocianina a partir de datos extraídos de la Tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.11: Rendimiento en función del tiempo de maceración

Según la Figura 4.11, se observa el efecto del tiempo de maceración del extracto de antocianina de col morada, que a tiempo de 6 horas se obtiene un rendimiento del

(0,076) %, a las 12 horas (0,078) % y a las 16 horas (0,057) %, por lo cual se puede observar que los tiempos más adecuadas es entre (6 y 12) horas.

4.2.4.2 Evaluación de la temperatura de evaporación del extracto de antocianina

En la Tabla 4.12, se muestran el valor del rendimiento promedio del extracto de antocianina obtenido a diferentes temperaturas de evaporación (50, 55 y 60) °C en base a las pruebas preliminares (Tabla 4.10) estos resultados permitieron comparar la influencia de cada temperatura de evaporación utilizando el espectrofotómetro Cary UV.

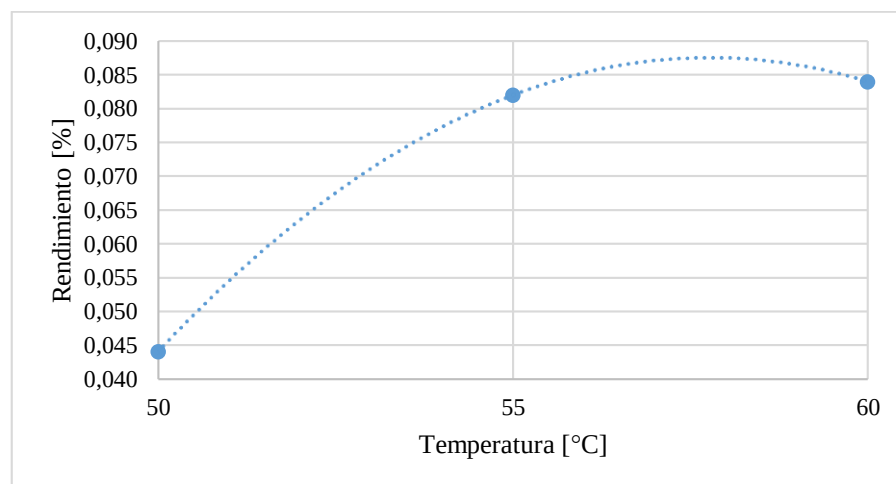
Tabla 4.12

Rendimiento promedio en función de la temperatura de evaporación

Temperatura de evaporación [°C]	Rendimiento promedio [%]
50	0,044
55	0,082
60	0,084

Fuente: Elaboración propia, 2025

En la Figura 4.12, se observan los valores rendimiento promedio en función de la temperatura de evaporación del extracto de antocianina a partir de los datos extraídos de la Tabla 4.10.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.12: Rendimiento en función de la temperatura de evaporación

Según la Figura 4.12, se muestra el efecto de la temperatura de evaporación del extracto de antocianina de col morada, que a temperatura de 50°C se obtiene un rendimiento de (0,044) %, a los 55°C de (0,082) % y a los 60°C de (0,084) %, por lo cual se puede observar que las temperaturas más adecuadas son entre (55 y 60) °C.

4.2.4.3 Evaluación del pH del extracto de antocianina

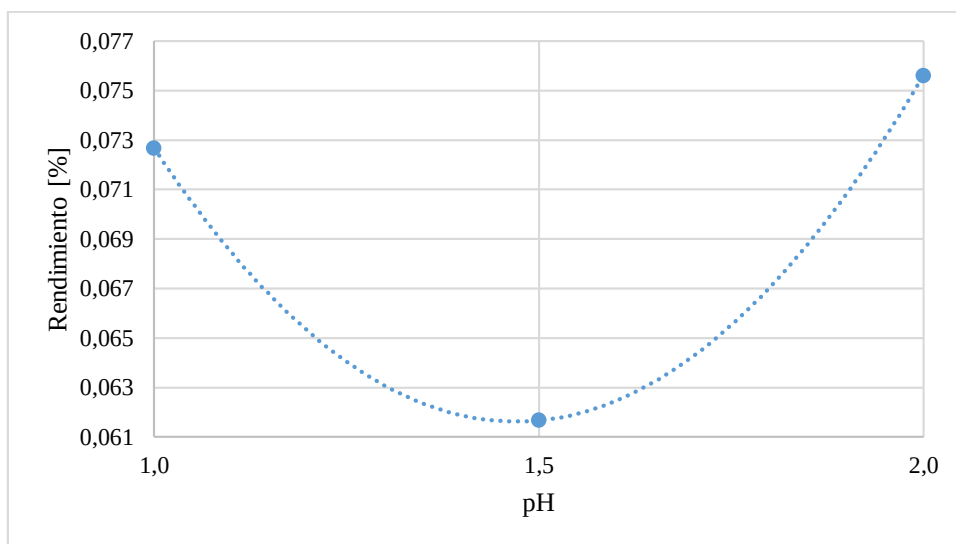
En la Tabla 4.13, se muestra el valor del rendimiento promedio del extracto de antocianina de col morada obtenido a diferentes pH (1,0; 1,5; y 2,0) en base a las pruebas preliminares (Tabla 4.10) estos resultados permitieron comparar la influencia de cada pH utilizando el espectrofotómetro Cary UV.

Tabla 4.13

<i>Rendimiento promedio en función del pH</i>	
pH	Rendimiento promedio [%]
1,0	0,072
1,5	0,061
2,0	0,075

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12, se observan los valores rendimiento promedio en función de pH del extracto de antocianina a partir de los datos extraídos de la Tabla 4.11.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.12: Rendimiento en función del pH

Según la Figura 4,12, se muestra el efecto del pH del extracto de antocianina de col morada, que a pH de 1,0 se obtiene un rendimiento del (0,072) %, a 1,5 del (0,061) % y a 2,0 del (0,075) %, por lo cual se puede observar que los pH más adecuados son entre (1,0 y 2,0).

4.2.4.4 Determinación de niveles de factores del extracto de antocianina de col morada

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4.10, y considerando el rendimiento evaluado en cada prueba preliminar, se identificaron como: temperatura de evaporación entre (55 y 60) °C, tiempo de maceración (6-12) horas y pH (1,0 y 2,0) más apropiados para el desarrollo de pruebas experimentales; debido a que favorecen una mayor eficiencia en el extracto de antocianina de col morada según la Tabla 4.14, para los niveles de los factores.

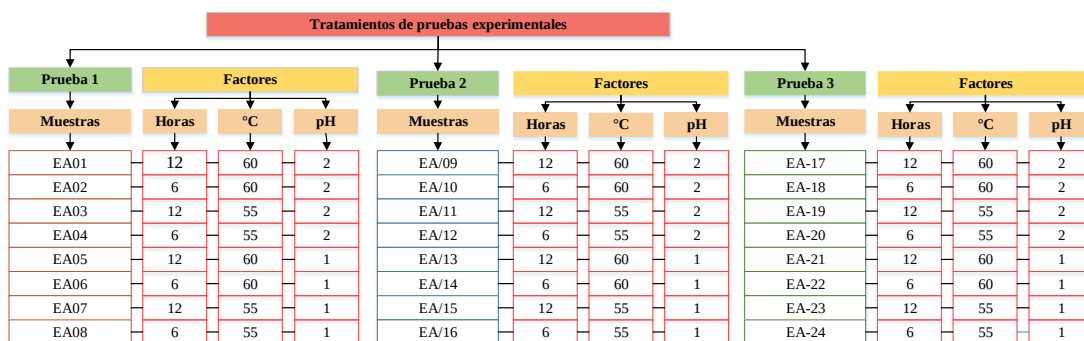
Tabla 4.14

Niveles de factores del extracto de antocianina

Factores	Unidad	Niveles	
Tiempo de maceración	Horas	6	12
Temperatura de evaporación	°C	55	60
pH	-	1,0	2,0

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 4.13, se presentan los tratamientos realizados para tres pruebas experimentales de extracto de antocianina concentrado, utilizando ocho muestras (prueba 1, prueba 2 y prueba 3), definidos a partir de los niveles de factores establecidos (Tabla 4.12). Los niveles de factores evaluados fueron: tiempo de maceración (6 y 12) horas, temperatura de evaporación (55 y 60) °C y pH (1,0 y 2,0).

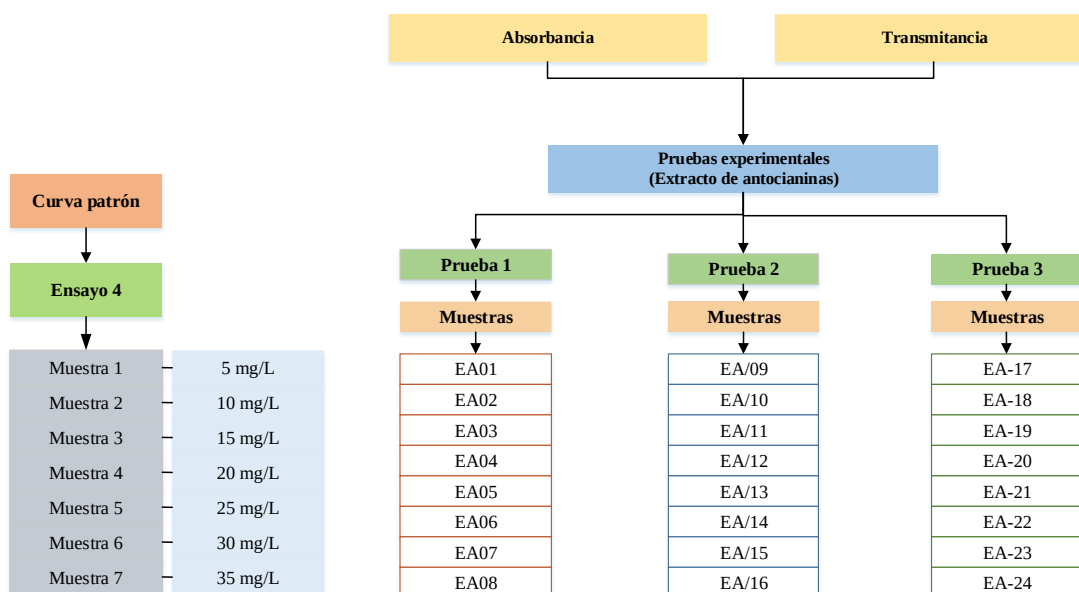


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Tratamientos de pruebas experimentales del extracto de antocianina

4.2.5 Análisis de comparación del extracto de antocianina y curva patrón

En la Figura 4.14, se observan las tres pruebas experimentales de extracto de antocianina concentrado utilizando ocho muestras: prueba 1 (EA01, EA02, EA03, EA04, EA05, EA06, EA07 y EA08), prueba 2 (EA/9, EA/10, EA/11, EA/12, EA/13, EA/14, EA/15 y EA/16) y prueba 3 (EA-17, EA-18, EA-19, EA-20, EA-21, EA-22, EA-23 y EA-24); con el fin de comparar los valores de absorbancia y transmitancia con la curva patrón (ensayo 4), preparándose siete muestras con concentraciones diluidas entre (5-35) mg/L.

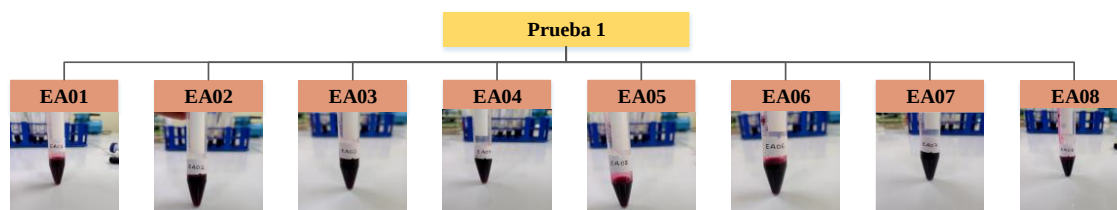


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Cuantificación de extractos concentrados de antocianinas

4.2.5.1 Determinación de absorbancia del extracto de antocianina para prueba 1

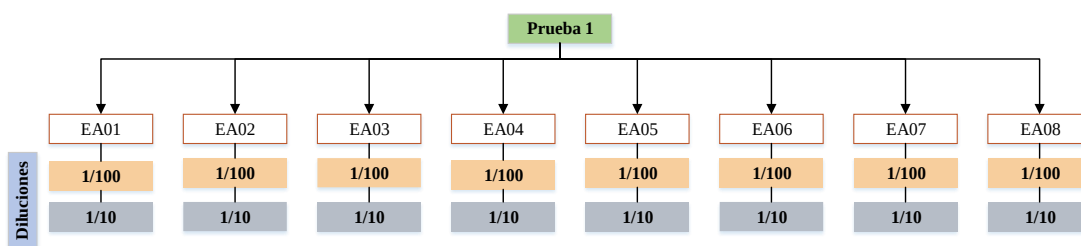
Para la determinación de absorbancia de los datos experimentales de la prueba 1, se emplearon ocho muestras codificadas de extracto de antocianina (EA01, EA02, EA03, EA04, EA05, EA06, EA07 y EA08) y las cuales se presentan en la Figura 4.15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Muestras de extracto de antocianinas para la prueba 1

En la Figura 4.16 se muestran las diluciones empleadas de las ocho muestras de extracto de antocianina (EA01, EA02, EA03, EA04, EA05, EA06, EA07 y EA08) para la prueba 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Muestras de extracto de antocianinas diluidas para la prueba 1

En la Tabla 4.15, se muestran los datos experimentales de concentración y absorbancia correspondientes a curva patrón y la prueba 1 de los datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo K).

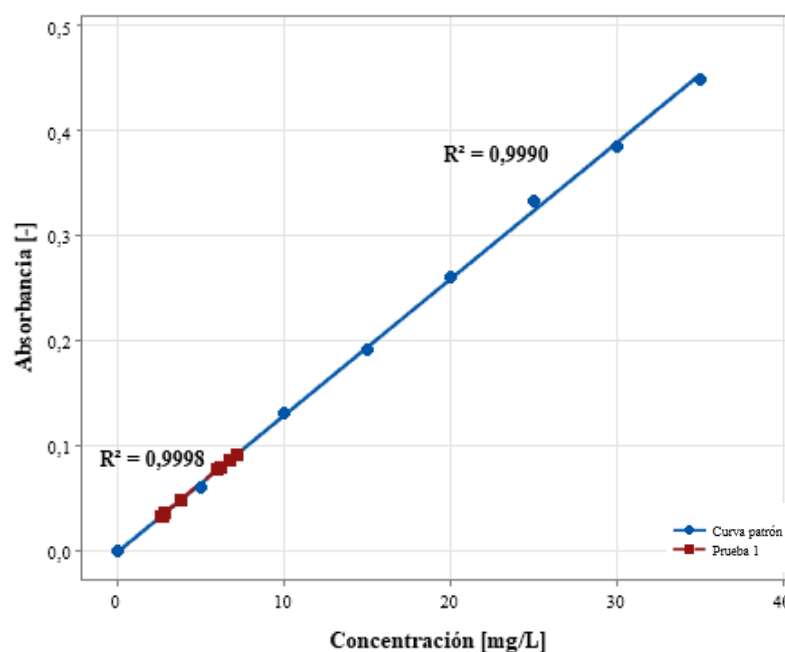
Tabla 4.15

Concentración y absorbancia de curva patrón y prueba 1

Curva patrón		Prueba 1	
Concentración	Absorbancia	Concentración	Absorbancia
[mg/L]	[-]	[mg/L]	[-]
0,00	-0,0001	2,70	0,0341
5,00	0,0601	2,60	0,0333
10,00	0,1308	3,80	0,0490
15,00	0,1913	2,80	0,0361
20,00	0,2610	6,00	0,0775
25,00	0,3336	6,20	0,0796
30,00	0,3846	7,20	0,0921
35,00	0,4484	6,70	0,0863

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.17, se muestran los datos experimentales de absorbancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 1 y comparación de la curva patrón con el extracto de antocianina comercial de datos extraídos de la Tabla 4.13 introduciendo los datos al Software Estadístico Minitab Versión 2019.



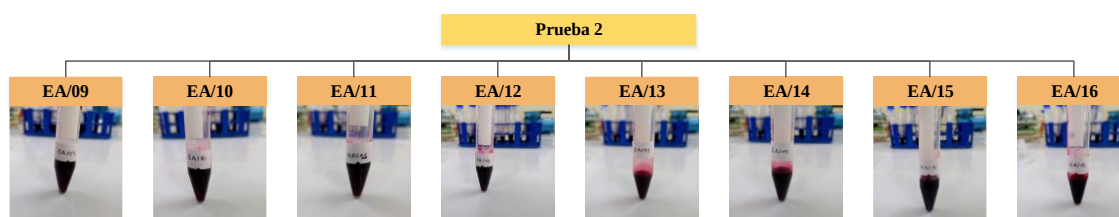
Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.17: Comparación de extracto comercial y prueba 1

En la Figura 4.17, se muestra la comparación del ajuste de linealidad de los datos experimentales de la curva patrón de extracto comercial y prueba 1, utilizando el Software Estadístico Minitab Versión 2019. Observándose un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9990$ para la curva patrón y $R^2 = 0,9998$ para la prueba 1, lo que confirma que el modelo para la curva patrón es similar a los datos experimentales de la prueba 1.

4.2.5.2 Determinación de absorbancia del extracto de antocianina para prueba 2

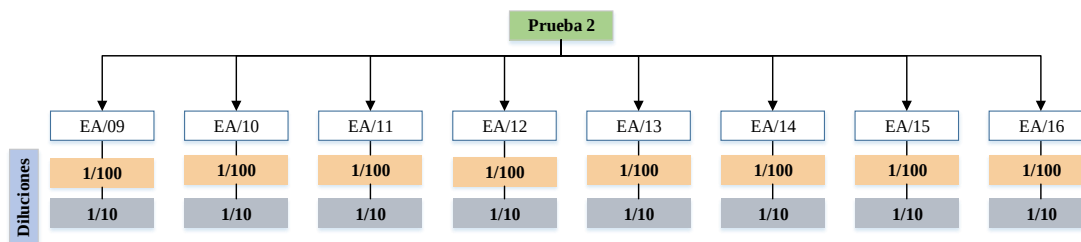
Para la determinación de absorbancia de los datos experimentales de la prueba 2, se emplearon ocho muestras codificadas de extracto de antocianina (EA/09, EA/10, EA/11, EA/12, EA/13, EA/14, EA/15 y EA/16) y las cuales se presentan en la Figura 4.18.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Muestras de extracto de antocianinas para la prueba 2

En la Figura 4.19 se muestran las diluciones empleadas de las ocho muestras de extracto de antocianina (EA/09, EA/10, EA/11, EA/12, EA/13, EA/14, EA/15 y EA/16) para la prueba 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Muestras de extracto de antocianinas diluidas para la prueba 2

En la Tabla 4.16, se muestran los datos experimentales de concentración y absorbancia correspondientes a curva patrón y la prueba 2 de los datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo K).

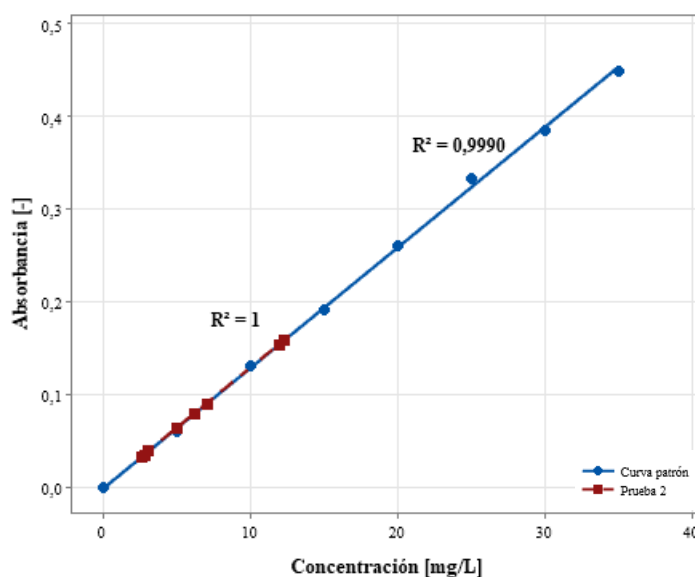
Tabla 4.16

Concentración y absorbancia de curva patrón y prueba 2

Curva patrón		Prueba 2	
Concentración	Absorbancia	Concentración	Absorbancia
[mg/L]	[-]	[mg/L]	[-]
0,00	-0,0001	2,60	0,0333
5,00	0,0601	6,20	0,0801
10,00	0,1308	3,10	0,0396
15,00	0,1913	2,80	0,0355
20,00	0,2610	12,30	0,1591
25,00	0,3336	12,00	0,1544
30,00	0,3846	5,00	0,0645
35,00	0,4484	7,10	0,0909

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.20, se muestran los datos experimentales de absorbancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 2 y comparación de la curva patrón con el extracto de antocianina comercial de datos extraídos de la Tabla 4.14 introduciendo los datos al Software Estadístico Minitab Versión 2019.



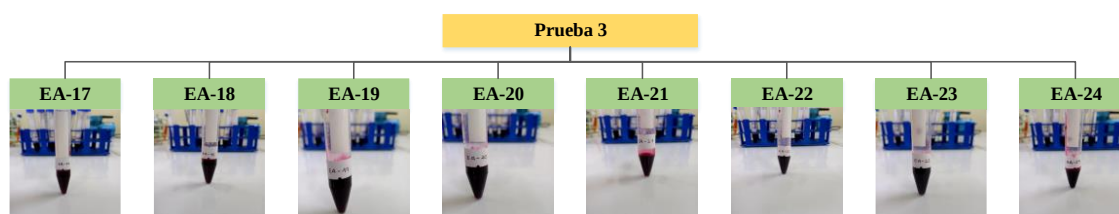
Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.20: Comparación de extracto comercial y prueba 2

De acuerdo con la Figura 4.20, se muestra la comparación del ajuste de linealidad de los datos experimentales de la curva patrón de extracto comercial y prueba 2, utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 2019. Observándose un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9990$ para la curva patrón y $R^2 = 1$ para la prueba 2, lo que confirma que el modelo para la curva patrón se ajusta a los datos experimentales de la prueba 2.

4.2.5.3 Determinación de absorbancia del extracto de antocianina para prueba 3

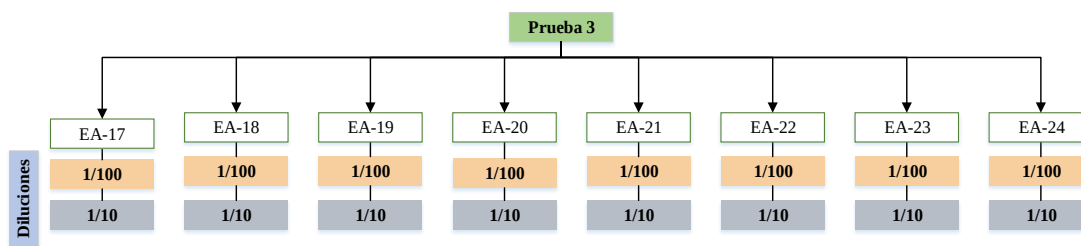
Para la determinación de absorbancia de los datos experimentales de la prueba 2, se emplearon ocho muestras codificadas de extracto de antocianina (EA-17, EA-18, EA-19, EA-20, EA-21, EA-22, EA-23 y EA-24) y las cuales se presentan en la Figura 4.21.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Muestras de extracto de antocianinas para la prueba 3

En la Figura 4.22, se muestran las diluciones empleadas de las ocho muestras de extracto de antocianina (EA-17, EA-18, EA-19, EA-20, EA-21, EA-22, EA-23 y EA-24) para la prueba 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Muestras de extracto de antocianinas diluidas para la prueba 3

En la Tabla 4.17, se muestran los datos experimentales de concentración y absorbancia correspondientes a curva patrón y la prueba 3 de los datos extraídos del Software Cary WinUV del (Anexo K).

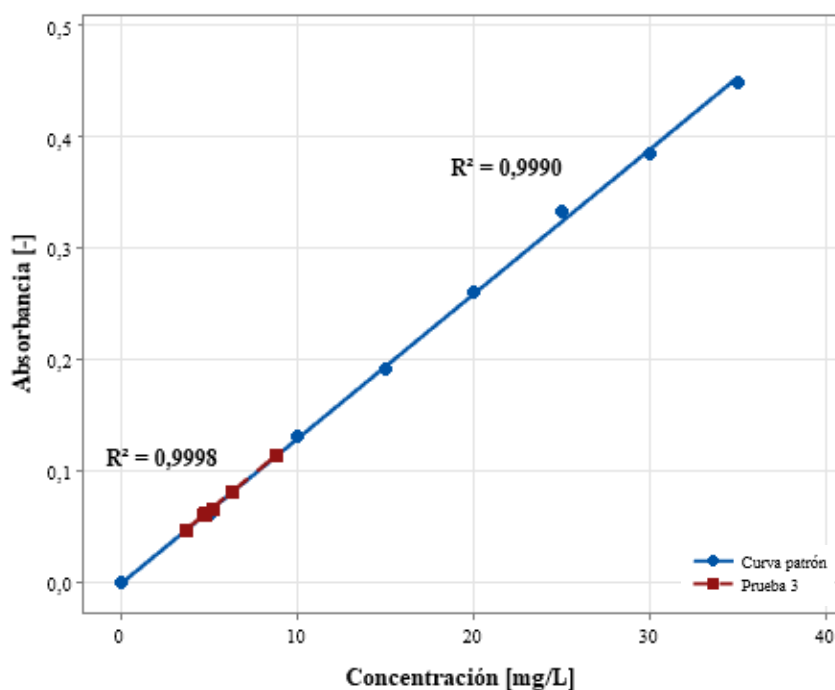
Tabla 4.17

Concentración y absorbancia de curva patrón y prueba 3

Curva patrón		Prueba 3	
Concentración	Absorbancia	Concentración	Absorbancia
[mg/L]	[-]	[mg/L]	[-]
0,00	-0,0001	4,80	0,0611
5,00	0,0601	3,70	0,0473
10,00	0,1308	4,70	0,0603
15,00	0,1913	5,20	0,0669
20,00	0,2610	8,80	0,1137
25,00	0,3336	4,80	0,0621
30,00	0,3846	6,30	0,0808
35,00	0,4484	5,20	0,0668

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.23, se muestran los datos experimentales de absorbancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 3 y comparación de la curva patrón con el extracto de antocianina comercial de datos extraídos de la Tabla 4.15 introduciendo los datos al Software Estadístico Minitab Versión 2019.



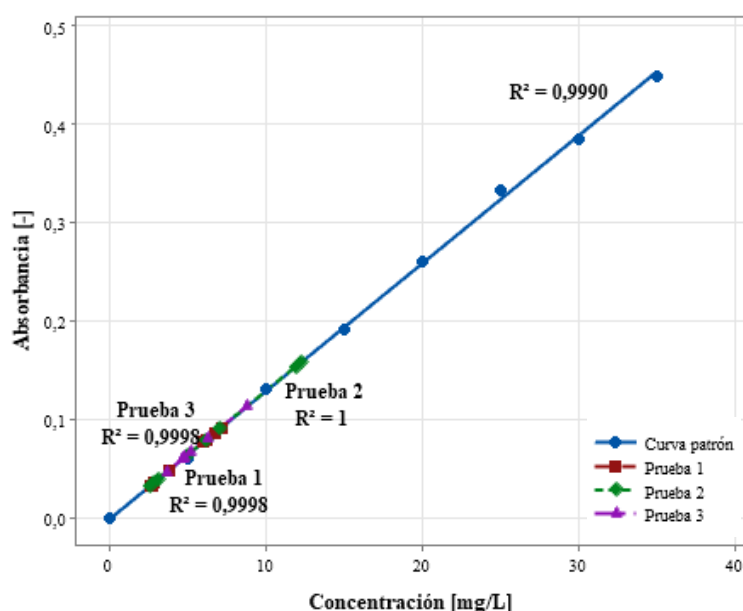
Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.23: Comparación de extracto comercial y prueba 3

De acuerdo con la Figura 4.23, se muestra la comparación del ajuste de linealidad de los datos experimentales de la curva patrón de extracto comercial y prueba 3, utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 2019. Observándose un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9990$ para la curva patrón y $R^2 = 0,9998$ para la prueba 3, lo que confirma que el modelo para la curva patrón es similar a los datos experimentales de la prueba 3.

4.2.5.4 Comparación de curva patrón y pruebas experimentales del extracto de antocianina

Con la finalidad de seleccionar la prueba experimental adecuada para el extracto de antocianina, se tomaron en cuenta los resultados de absorbancia y concentración; en función de la Tabla 4.15 (prueba 1), Tabla 4.16 (prueba 2) y Tabla 4.17 (prueba 3). En la Figura 4.24 se observa la comparación de los coeficientes de correlación de pruebas experimentales de extracto de antocianina con respecto a la curva patrón.



Fuente: Elaboracion propia, 2025

Figura 4.24: Ajuste de linealidad de las tres pruebas

Según la Figura 4.24, se observa el ajuste de linealidad correspondiente a las tres pruebas experimentales (prueba 1, prueba 2 y prueba 3) de extracto de antocianina a partir de repollo morado con respecto a la curva patrón. En donde cada modelo matemático presenta un coeficiente de correlación diferente para cada prueba experimental: prueba 1 ($R^2 = 0,9998$), prueba 2 ($R^2 = 1$) y prueba 3 ($R^2 = 0,9998$). Al comparar los resultados según los coeficientes de correlación de linealidad, se puede observar que la prueba 2, muestra el coeficiente ($R^2 = 1$), indicando que presenta un ajuste lineal perfecto. Por lo tanto, el análisis del ajuste de linealidad para la prueba 2 será tomado en cuenta como referencia para la determinación de porcentaje de transmitancia.

4.2.6 Determinación de rendimiento del extracto de antocianina a partir de transmitancia

Para el cálculo del porcentaje de transmitancia se emplearon los datos experimentales de absorbancia obtenidos del extracto de antocianina de las tres pruebas experimentales, correspondientes a la Tabla 4.15 (Prueba 1), Tabla 4.16 (Prueba 2) y Tabla 4.17 (Prueba 3). Asimismo, para el cálculo de la curva patrón del extracto de

antocianina comercial se utilizaron datos experimentales presentados en la Tabla 4.8, aplicando la ecuación 4.1, modificada de la ecuación 2.1, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de antocianina a partir de la col morada.

$$\%T = \frac{1}{10^{Abs}} * 100 \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

4.2.6.1 Determinación de transmitancia del extracto de antocianina comercial de curva patrón

En la Tabla 4.18, se muestran los datos experimentales de concentración y transmitancia [%] correspondientes a la curva patrón de datos extraídos del (Anexo L) con el fin de determinar el rendimiento del extracto.

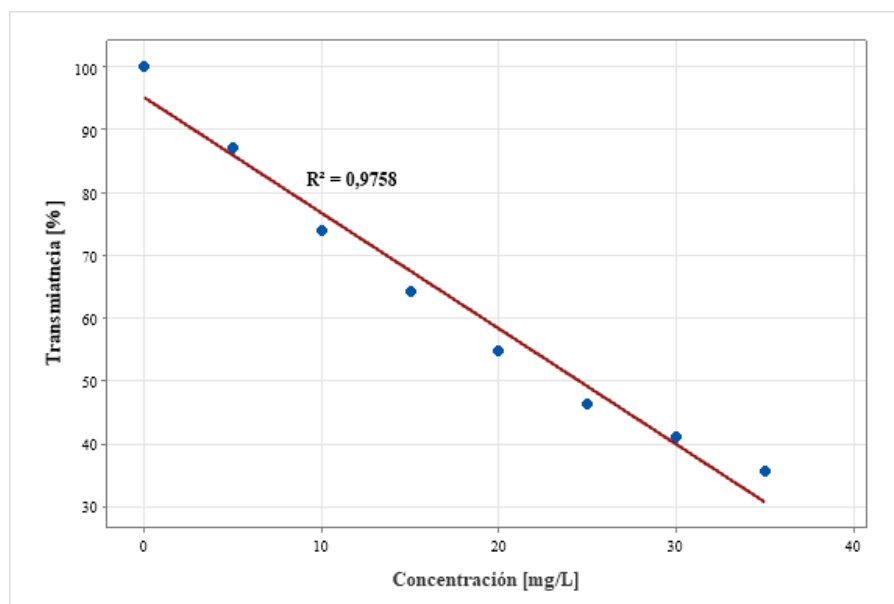
Tabla 4.18

Concentración y transmitancia de curva patrón

Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]
0	100,02
5	87,08
10	73,99
15	64,37
20	54,83
25	46,39
30	41,25
35	35,61

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.25, se muestran los datos experimentales de transmitancia en función de la concentración del extracto de antocianina comercial de la curva patrón de rendimiento de datos extraídos de la Tabla 4.18.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.25: Ajuste de linealidad para transmitancia

Según la Figura 4.25, se observa un coeficiente de correlación del $R^2 = 0,9758$ para el rendimiento de la curva patrón del extracto de antocianina comercial.

4.2.6.2 Determinación de transmitancia del extracto de antocianina para la prueba 1

En la Tabla 4.19, se muestran los datos experimentales de concentración y transmitancia correspondientes a la curva patrón de rendimiento y prueba 1 de datos extraídos del (Anexo L.1)) con el fin de determinar el rendimiento del extracto.

Tabla 4.19

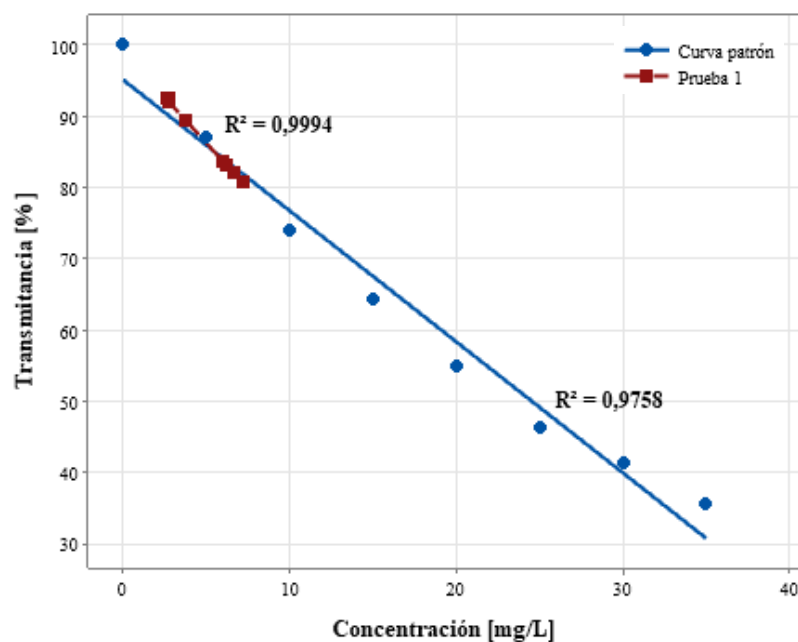
Concentración y transmitancia de curva patrón y prueba 1

Curva patrón		Prueba 1	
Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]	Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]
0	100,02	2,70	92,45
5	87,08	2,60	92,62
10	73,99	3,80	89,33
15	64,37	2,80	92,02
20	54,83	6,00	83,66
25	46,39	6,20	83,25
30	41,25	7,20	80,89

35	35,61	6,70	81,98
----	-------	------	-------

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.26, se muestran los datos experimentales de transmitancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 1 y curva patrón de rendimiento con el extracto comercial, que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 2019, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de antocianina a partir de datos extraídos de la Tabla 4.19.



Fuente: Software Estadístico Minitap Versión 2019, 2025

Figura 4.26: Comparación de curva de transmitancia y prueba 1

Según la Figura 4.26, la curva patrón de rendimiento presentó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9758$, mientras que la prueba 1 presente un valor de $R^2 = 0,9994$, evidenciando un ajuste lineal más preciso. En esta prueba se observa que, conforme aumenta la concentración del extracto, la transmitancia disminuye, lo cual concuerda con la Ley de Lambert-Beer, que establece que una mayor concentración provoca una mayor absorción de luz y, por tanto, una menor transmitancia. Este comportamiento confirma que una baja transmitancia está asociada a un mayor rendimiento, al reflejar una mayor concentración de antocianinas en el extracto.

4.2.6.3 Determinación de transmitancia del extracto de antocianina para la prueba 2

En la Tabla 4.20, se muestran los datos experimentales de concentración y transmitancia correspondientes a la curva patrón de rendimiento y prueba 2 de datos extraídos del (Anexo L.2), con el fin de determinar el rendimiento del extracto.

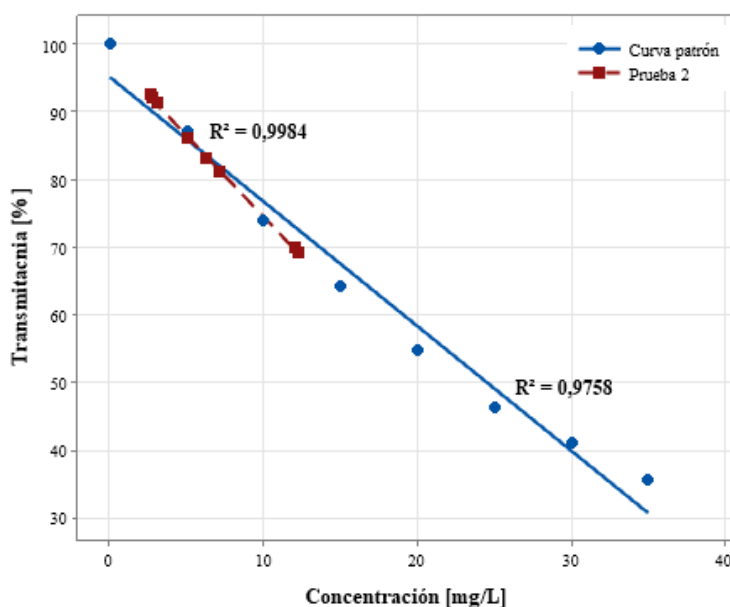
Tabla 4.20

Concentración y transmitancia de curva patrón y prueba 2

Curva patrón		Prueba 2	
Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]	Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]
0	100,02	2,60	92,62
5	87,08	6,20	83,16
10	73,99	3,10	91,29
15	64,37	2,80	92,15
20	54,83	12,30	69,33
25	46,39	12,00	70,08
30	41,25	5,00	86,20
35	35,61	7,10	81,11

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.27, se muestran los datos experimentales de transmitancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 2 y curva patrón de rendimiento con el extracto comercial, que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 2019, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de antocianina a partir de datos extraídos de la Tabla 4.20.



Fuente: Software Estadístico Minitap Versión 2019, 2025

Figura 4.27: Comparación de curva de transmitancia y prueba 2

Según la Figura 4.27, la curva patrón de rendimiento presentó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9758$, mientras que la prueba 2 presenta un valor de $R^2 = 0,9984$, evidenciando un ajuste lineal más preciso. En esta prueba se observa que, conforme aumenta la concentración del extracto, la transmitancia disminuye, lo cual concuerda con la Ley de Lambert-Beer, que establece que una mayor concentración provoca una mayor absorción de luz y, por tanto, una menor transmitancia. Este comportamiento confirma que una baja transmitancia está asociada a un mayor rendimiento, al reflejar una mayor concentración de antocianinas en el extracto.

4.2.6.4 Determinación de rendimiento del extracto de antocianina para prueba 3

En la Tabla 4.21, se muestran los datos experimentales de concentración y transmitancia correspondientes a la curva patrón de rendimiento y prueba 3 de datos extraídos del (Anexo L.3), con el fin de determinar el rendimiento del extracto.

Tabla 4.21

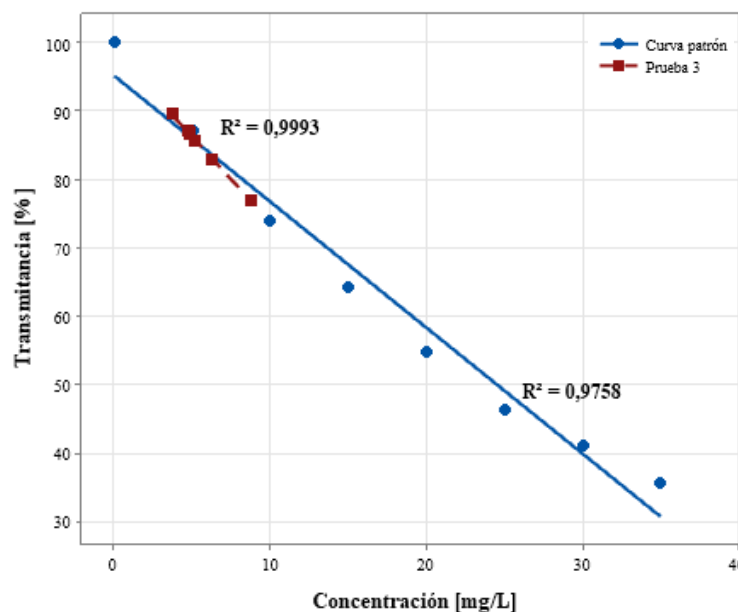
Concentración y transmitancia de curva patrón y prueba 3

Curva patrón	Prueba 3
--------------	----------

Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]	Concentración [mg/L]	Transmitancia [%]
0	100,02	4,80	86,88
5	87,08	3,70	89,68
10	73,99	4,70	87,04
15	64,37	5,20	85,72
20	54,83	8,80	76,97
25	46,39	4,80	86,68
30	41,25	6,30	83,02
35	35,61	5,20	85,74

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.28, se muestran los datos experimentales de transmitancia en función de la concentración del extracto de antocianina de la prueba 3 y curva patrón de rendimiento con el extracto comercial, que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 2019, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de antocianina a partir de datos extraídos de la Tabla 4.21.



Fuente: Elaboración propia, 2025

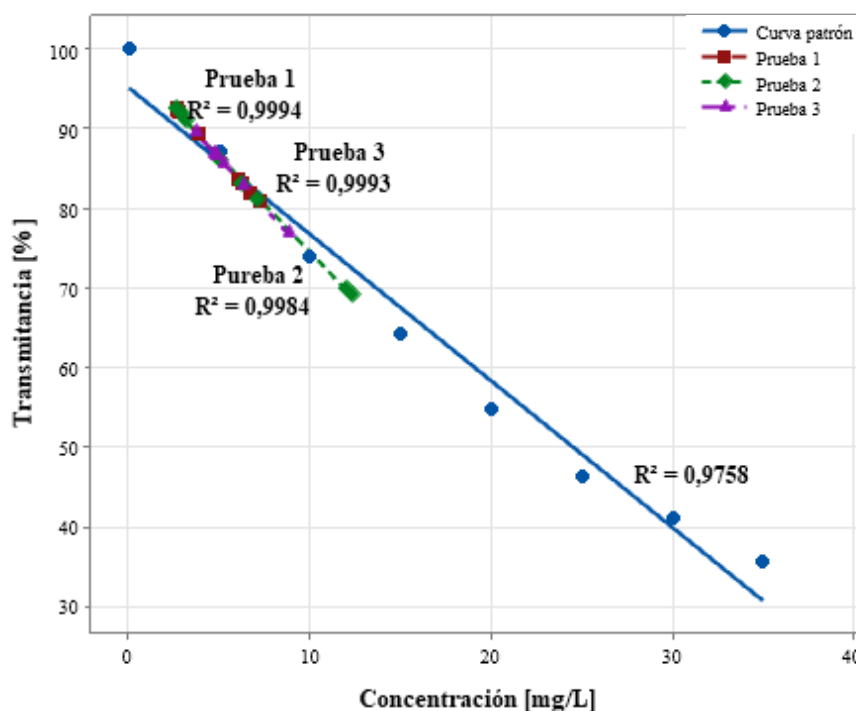
Figura 4.28: Comparación de curva de transmitancia y prueba 3

Según la Figura 4.28, la curva patrón de rendimiento presentó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9758$, mientras que la prueba 3 presenta un valor de $R^2 = 0,9993$, evidenciando un ajuste lineal más preciso. En esta prueba se observa que, conforme

aumenta la concentración del extracto, la transmitancia disminuye, lo cual concuerda con la Ley de Lambert-Beer, que establece que una mayor concentración provoca una mayor absorción de luz y, por tanto, una menor transmitancia. Este comportamiento confirma que una baja transmitancia está asociada a un mayor rendimiento, al reflejar una mayor concentración de antocianinas en el extracto.

4.2.6.5 Comparación de rendimiento para la curva patrón y pruebas experimentales

Con la finalidad de seleccionar la prueba experimental más adecuada para el extracto de antocianina con mayor rendimiento, se tomaron en cuenta los resultados de transmitancia y concentración; según la Tabla 4.19 (prueba 1), Tabla 4.20 (prueba 2) y Tabla 4.21 (prueba 3). En la Figura 4.29 se observa la comparación del coeficiente de correlación utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 2019.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.29: Ajuste de linealidad de transmitancia de las tres pruebas

Según la Figura 4.29, se observa el ajuste de linealidad correspondiente de las tres pruebas experimentales de extracto de antocianina y curva patrón de rendimiento en

donde presentó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9758$; mientras que las pruebas experimentales mostraron coeficiente de correlación distinto: prueba 1 ($R^2 = 0,9994$), prueba 2 ($R^2 = 0,9984$) y prueba 3 ($R^2 = 0,9993$). Al comparar estos valores, se evidencia que la prueba 1 alcanzó el coeficiente más alto, indicando un mejor ajuste lineal y una mayor proximidad a la unidad. En consecuencia, la prueba 1 se considera la más adecuada en términos de rendimiento de extracción de antocianinas.

4.3 Diseño factorial 2^3 del extracto de antocianinas

Para aplicar el diseño factorial en el extracto de antocianina se utilizó el diseño factorial correspondiente 2^3 la cual consistió en utilizar las variables de niveles de los factores establecidos en la Tabla 4.12.

Tiempo de maceración	(6 - 12) horas
Temperatura de evaporación	(55 – 60) °C
Ph	(1,0 – 2,0)

Tomando en cuenta la variable de rendimiento del extracto de antocianina expresado en porcentaje, los resultados extraídos de la Tabla M.1.3 (Anexo M) y se detallan en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22

Rendimiento de las muestras de extracto de antocianina

Combinación	A	B	C	Réplica I	Réplica II	Réplica III	Total (Y _i)
	Tiempo de maceración (h)	Temperatura evaporación (°C)	pH				
(1)	12	60	2,0	0,024	0,034	0,043	0,101
a	6	60	2,0	0,035	0,047	0,050	0,132
b	12	55	2,0	0,046	0,039	0,056	0,141
c	6	55	2,0	0,038	0,038	0,070	0,146
ab	12	60	1,0	0,084	0,111	0,123	0,318
ac	6	60	1,0	0,081	0,096	0,062	0,239
bc	12	55	1,0	0,083	0,068	0,072	0,223
abc	6	55	1,0	0,087	0,096	0,068	0,251

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Análisis de varianza para el rendimiento del extracto de antocianinas de col morada

En la Tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza aplicado en las muestras del extracto de antocianinas para el rendimiento (%). Los cuales fueron introducidos en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI) por Windows y los resultados son detallados en la Tabla M.1.4 (Anexo M.1).

Tabla 4.23

Análisis de varianza para el rendimiento de extracto de antocianina

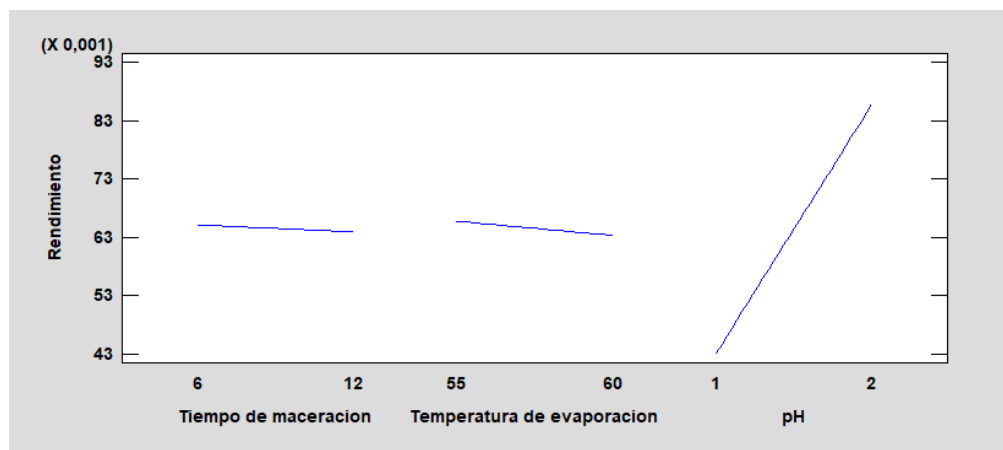
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados (SC)	Grados Libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	8,88167E-06	1	8,88167E-06	0,05	0,8318
Factor B	3,52838E-05	1	3,52838E-05	0,19	0,6727
Factor C	0,0108886	1	0,0108886	57,15*	0
Interacción AB	0,000276082	1	0,000276082	1,45	0,2462
Interacción AC	0,000308884	1	0,000308884	1,62	0,2211
Interacción BC	0,000788907	1	0,000788907	4,14	0,0588
Interacción ABC	0,00073372	1	0,00073372	3,85	0,0674
Error total	0,0030486	16	0,000190538	-	-
Total	0,0160889	23	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la Tabla 4.23, se observa que el Factor A y B no son estadísticamente significativas debido a que el $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, el Factor C, interacciones AB, AC, BC y ABC si

existe diferencia significativa en el proceso de extracción; ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

En la Figura 4.30, se muestra los efectos principales para los factores: A (tiempo de maceración), B (temperatura de evaporación) y C(pH) en relación del rendimiento (%).

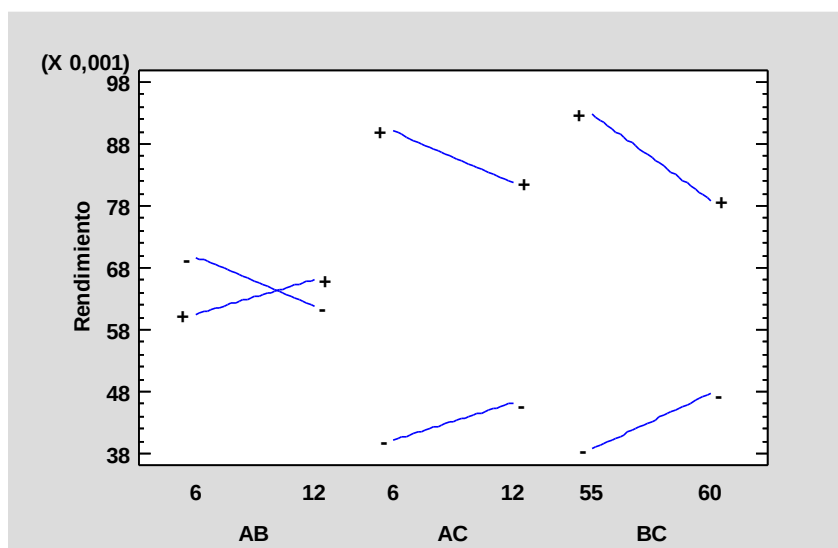


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Efectos principales para rendimiento

En la Figura 4.30, se observa que el factor C (pH) entre valores (1,0-2,0) influye significativamente en el rendimiento debido a que se encuentra en un nivel alto y bajo. Sin embargo, el factor A (Tiempo de maceración) entre valores (6-12) h y el factor B (Temperatura de evaporación) entre valores (55-60) °C no influyen significativamente en los niveles altos y bajos; debido a que la variación del rendimiento es mínima.

En la Figura 4.31, se muestran las interacciones para los factores AB (tiempo de maceración-temperatura de evaporación), AC (tiempo de maceración- pH) y BC (temperatura de evaporación-pH), en función del rendimiento (%).



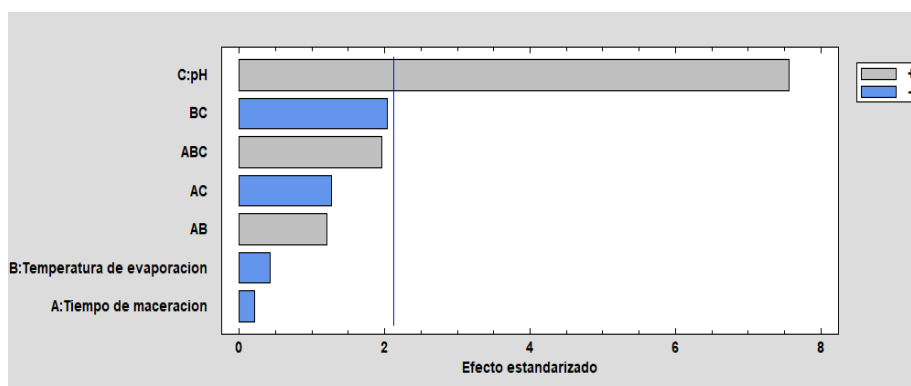
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Interacción para rendimiento

En la Figura 4.31, se presentan los efectos de las interacciones AB, AC y BC sobre la variable de rendimiento (%), observándose una influencia estadísticamente significativa en todos los casos. La interacción AB (tiempo de maceración - temperatura de evaporación) muestra que, cuando ambos factores se encuentran en su nivel bajo, el rendimiento aumenta de forma considerable. En contraste, cuando ambos factores están en su nivel alto, se produce una disminución del rendimiento, lo que indica un efecto combinado negativo en estas condiciones. En la interacción AC (tiempo de maceración - pH), evidencia un mayor rendimiento cuando A está en su nivel bajo y C en su nivel alto; situación inversa genera una respuesta menor, lo que sugiere una dependencia del rendimiento respecto al equilibrio entre el tiempo de extracción y la acidez del medio. Finalmente, la interacción BC (temperatura de evaporación - pH) revela que las condiciones de B nivel bajo y C nivel alto favorecen un mayor rendimiento, mientras que la combinación de B nivel alto y C nivel bajo conduce a una reducción significativa en el rendimiento. Estos resultados confirman que el comportamiento del sistema no depende únicamente de los factores individuales, sino también de sus interacciones.

En la Figura 4.32, se muestra el diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento de los factores tomados en cuenta para el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de

significancia estadística los determina la línea vertical de referencia de 2,05, por lo tanto, los factores que exceden la línea de referencia son significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Diagrama de Pareto estandarizada para rendimiento

En la Figura 4.32, se puede observar que el factor C (pH) excede la línea de referencia, por lo tanto, es estadísticamente significativo en comparación con los factores A (tiempo de maceración) y B (temperatura de evaporación), debido a que no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.2 Coeficiente de regresión para el porcentaje de rendimiento del extracto de antocianina

En la ecuación (4.2), se observa el modelo matemático de regresión que se ajustó los datos experimentales para el porcentaje de rendimiento de extracto de antocianina y datos extraídos de la Tabla M.1.2 (Anexo M). Esta ecuación se elaboró tomando como referencia la ecuación (3.1), correspondiente al modelo de regresión para un diseño 2^k .

$$\text{Rendimiento} = -1,30805 + 0,104553*A + 0,02223*B + 1,09088*C - 0,00175944*A*B - 0,0871722*A*C - 0,0178567*B*C + 0,00147444*A*B*C \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

Donde los factores A (tiempo de maceración h), B (Temperatura de evaporación °C) y C (pH) están especificados en sus unidades originales.

4.3.3 Optimización del rendimiento del extracto de antocianina

Para el extracto de antocianinas a nivel experimental se elaboraron ocho muestras y las variables tomadas en cuenta se escriben en la Tabla 4.24.

Tabla 4.24

Optimización del rendimiento del extracto de antocianina

Muestras	Tiempo de maceración (h)	Temperatura de evaporación (°C)	pH
A01	12	60	2,0
A02	6	60	2,0
A03	12	55	2,0
A04	6	55	2,0
A05	12	60	1,0
A06	6	60	1,0
A07	12	55	1,0
A08	6	55	1,0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4,25, se observan los valores óptimos para maximizar el rendimiento de las muestras del extracto de antocianina de datos extraídos de la Tabla M.1.6 (Anexo M).

Tabla 4.25

Valores óptimos para maximizar el rendimiento del extracto de antocianinas

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de maceración (A)	6	12	6
Temperatura de evaporación (B)	55	60	55
pH (C)	1,0	2,0	2,0

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.25, se puede observar que los valores óptimos de los factores para maximizar el rendimiento en las muestras del extracto de antocianinas son: tiempo de maceración (6) h, temperatura de evaporación (55) °C y pH (2,0); en este sentido, se seleccionó la muestra A04, por lo que se consideró la más representativa para maximizar el rendimiento de (0,146) %.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental de extracción de antocianinas de col morada y según los datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- La col morada que se utilizó como materia prima presenta en promedio las siguientes propiedades físicas: peso total 279,59 g; peso comestible 159,23g; peso no comestible 117,88g; porción no comestible 56,35% y porción no comestible 42,75%.
- Tomando en cuenta el análisis de laboratorio que se realizó en el CEANID, las características fisicoquímicas de la col morada (*Brassica oleracea*) son: Acidez 0,27 g/100 g, Calcio 24 mg/100 g, Cenizas 0,97 g/100 g, Fibra 1,10 g/100 g, Grasa 0,07 g/100 g, Humedad 88,04 g/100 g, Hidratos de carbono 8,26 g/100 g, pH 6,79, Potasio 457 mg/100 g, Proteína total ($N \times 6,25$) 2,66 g/100 g y Valor energético de 44 Kcal/100 g.
- Los análisis microbiológicos de la col morada (*Brassica oleracea*) indican que: Coliformes totales $3,6 \times 10^3$ UFC/g, *Escherichia coli* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*) y Coliformes fecales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*). Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- Realizado el análisis cuantitativo del extracto de antocianina comercial para la curva patrón, se evidencio que el ensayo 4 presentó un coeficiente de correlación ($R^2=0,99903$), considerándose como patrón de referencia para la valoración influencia: tiempo de maceración – rendimiento, temperatura de evaporación – rendimiento y pH – rendimiento de pruebas experimentales.
- Según el análisis cuantitativo del extracto de antocianinas se determinó que la prueba 1 fue la que presentó mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0,9994$) evidenciando una relación lineal entre concentración y Transmitancia (%).

- Realizado el diseño factorial 2^3 para los factores se tomó en cuenta un tiempo de maceración de 6 horas, pH 2,0 y temperatura de evaporación 55 (°C) el cual presentó un rendimiento del 0,146 (%).

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar futuras investigaciones utilizando otras materias primas ricas en antocianinas, como el maíz morado (*Zea mays L.*), la cáscara de uva (*Vitis vinifera*), o la berenjena (*Solanum melongena*), con el propósito de comparar el rendimiento de extracción y la estabilidad del pigmento obtenido bajo condiciones similares de maceración.
- Se sugiere complementar el análisis del rendimiento de extracto mediante la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), ya que este método permite identificar y cuantificar con mayor precisión los tipos específicos de antocianinas presentes en la muestra.
- Se recomienda aplicar el extracto de antocianina obtenido como colorante natural en la elaboración de productos alimenticios como bebidas, yogures, néctares, gelatinas, repostería y productos de panificación. Asimismo, se sugiere evaluar su estabilidad durante los procesos de almacenamiento y tratamiento térmico, con el fin de garantizar su eficacia como aditivo natural.