

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La cúrcuma es una especie vegetal de la familia del jengibre, que destaca por su color amarillo intenso y su sabor ligeramente amargo (Sánchez, 2023).

Tras la crisis sanitaria desencadenada por el coronavirus en 2019, la cúrcuma (*Cúrcuma Longa*) cobró mayor importancia en Bolivia debido a su atribución como potenciador del sistema inmunológico frente a enfermedades. En el país, su consumo se concentra principalmente en dos presentaciones: en su forma fresca (rizoma), y en su presentación seca en polvo (Opinión, 2020).

Entre las propiedades que posee la planta está la antiinflamatoria, que contribuye a tratar los dolores articulares que se producen en una artritis reumatoidea. También está la propiedad antiséptica que permite tratar los cortes y heridas ayudando en su cicatrización (El diario femenino, 2019).

En Bolivia no existe aún una producción organizada ni un mercado establecido. Sin embargo, se han impulsado proyectos de producción a pequeña escala, especialmente en la región de Villa Tunari, en el departamento de Cochabamba, que proyecta salir a flote con el procesamiento y secado de jengibre y cúrcuma (Opinión, 2020).

Estos productos son distribuidos en el centro urbano de la ciudad de Cochabamba, así como en otros departamentos del país, como La Paz y Oruro, donde la demanda de este producto ha mostrado un crecimiento constante. La cadena productiva incluye a pequeños y medianos productores, quienes han logrado posicionar la cúrcuma como un recurso económico relevante para la región (Kawsachun coca, 2022).

En nuestro medio se cultiva en lugares de clima húmedo como Tarija, Santa Cruz, Cochabamba y La Paz en las provincias Nor Yungas, Sud Yungas, Caranavi y Inquisivi (El diario femenino, 2019).

En el departamento de Tarija, la cúrcuma se cultiva en las localidades de Entre Ríos (provincia O'Connor) y Bermejo (provincia Arce). Sin embargo, su producción se realiza de manera no planificada y aún no ha alcanzado una escala comercial.

1.2 Justificación

- El extracto de curcumina componente activo de los rizomas de la cúrcuma, posee reconocidas propiedades para la salud, acción antioxidante, efecto antiinflamatorio, aumenta el flujo sanguíneo, reduce la oxidación del colesterol y efecto antimicrobiano en el ser humano.
- Asimismo, la obtención del extracto de curcumina tiene como finalidad su aplicación en el área de cosmetología, en la elaboración de jabones, cremas y mascarillas debido a sus propiedades que contribuyen al cuidado y regeneración de la piel, así como en la medicina tradicional, donde se emplea como suplemento natural.
- El presente trabajo de investigación tiene como finalidad aplicar el método de extracción por solvente para obtener el extracto de curcumina a partir de los rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa*), dado que en el departamento de Tarija y a nivel nacional no se cuenta con un procedimiento establecido.
- Los rizomas de cúrcuma son un tubérculo importante en la alimentación, debido a su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos que aportan beneficios digestivos y terapéuticos, lo que los hace valiosos para la dieta de las personas.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el presente trabajo, se detallan a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Determinar el rendimiento máximo del extracto de curcumina obtenido a partir de los rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa*) mediante la aplicación del método de extracción por solvente; para el departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas de los rizomas de cúrcuma (*Cúrcuma Longa*), con el fin de conocer la porción comestible y no comestible.
- Determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la cúrcuma (*Cúrcuma Longa*), con el propósito de conocer su composición.
- Aplicar la técnica de espectrofotometría UV-Vis para el análisis cuantitativo del extracto comercial de curcumina.
- Determinar la concentración del extracto de curcumina mediante análisis cuantitativo utilizando la técnica de espectrofotometría UV-Vis.
- Aplicar diseño experimental factorial, con la finalidad de establecer los factores que tienen mayor influencia en el extracto de curcumina.

1.4 Objeto de estudio

Obtención del extracto de curcumina a partir de los rizomas de cúrcuma (*Cúrcuma Longa*).

1.5 Planteamiento del problema

La cúrcuma (*Curcuma Longa*) es un tubérculo con alto valor nutricional y terapéutico, cuyos rizomas contienen compuestos bioactivos que contribuyen al bienestar humano, destacando por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. El extracto de curcumina, principal componente activo, posee un amplio potencial de aplicación en la elaboración de productos cosméticos como jabones, cremas y mascarillas, así como en

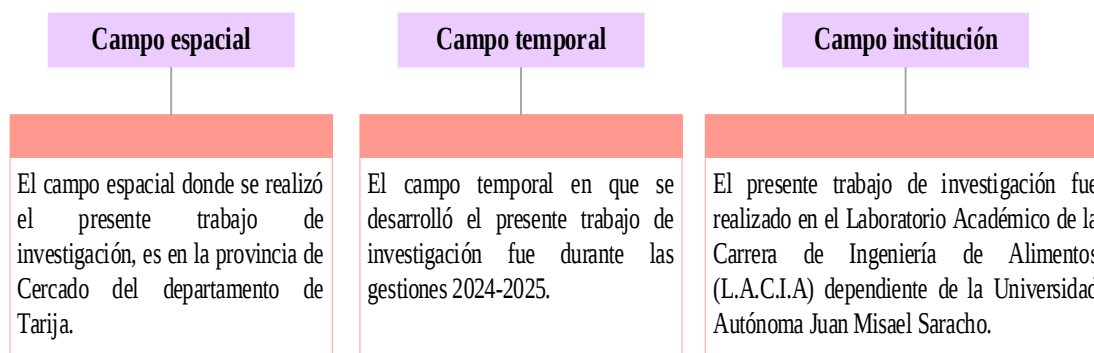
la formulación de suplementos naturales. Sin embargo, tanto en el departamento de Tarija como a nivel nacional, no se dispone de un procedimiento establecido para la obtención del extracto, lo que limita su aprovechamiento local. En este sentido, se plantea evaluar la factibilidad del método de extracción por solvente, con el fin de obtener extracto de curcumina de manera eficiente.

1.6 Formulación del problema

¿Mediante la aplicación del método de extracción por solvente se podrá determinar el rendimiento máximo del extracto de curcumina obtenido a partir de los rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa*) en el departamento de Tarija?

1.7 Campo de acción

En la Figura 1.1, se puede observar los campos de acción que se delimitaron para el presente trabajo de investigación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1: Campos de acción del presente trabajo de investigación

1.8 Hipótesis

La aplicación del método de extracción por solvente permitirá determinar el rendimiento máximo del extracto de curcumina obtenido a partir de los rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa*) en el departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la curcumina

La curcumina fue inicialmente aislada en 1815 por los químicos Caventou y Pelletier en Francia, quienes la identificaron como un pigmento de color amarillo vibrante. A lo largo del siglo XIX, diversos investigadores propusieron teorías sobre su posible estructura química (Vellido, 2021).

La incorporación de la curcumina purificada como aditivo alimentario en la industria moderna se consolidó en el siglo XX, tras su aislamiento y la comprensión de sus propiedades químicas (Vellido, 2021).

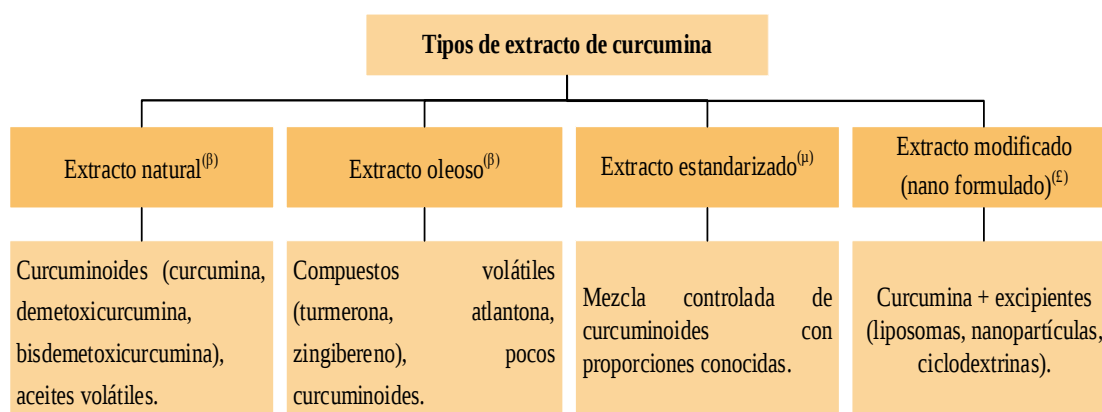
2.2 Definición del extracto de curcumina

La curcumina es la sustancia causante del color amarillo característico de los rizomas de esta planta, y es uno de los ingredientes activos responsable de su actividad biológica (Mesa et al, 2000). Curcumina también se le conoce como C.I. 75300 o “amarillo natural 3” y ha sido catalogada en la lista del código alimentario de la unión europea con la nominación E100 (Sánchez et al, 2022).

El extracto de curcumina es un compuesto bioactivo obtenido del rizoma de *Curcuma Longa*. Su principal componente, la curcumina, le confiere un color amarillo. Se extrae comúnmente mediante solventes orgánicos como etanol o metanol (Prasad et al, 2014).

2.3 Tipos de extracto de curcumina

Los extractos de curcumina se pueden clasificar en cuatro tipos en función de su composición química, como se muestra en la Figura 2.1.

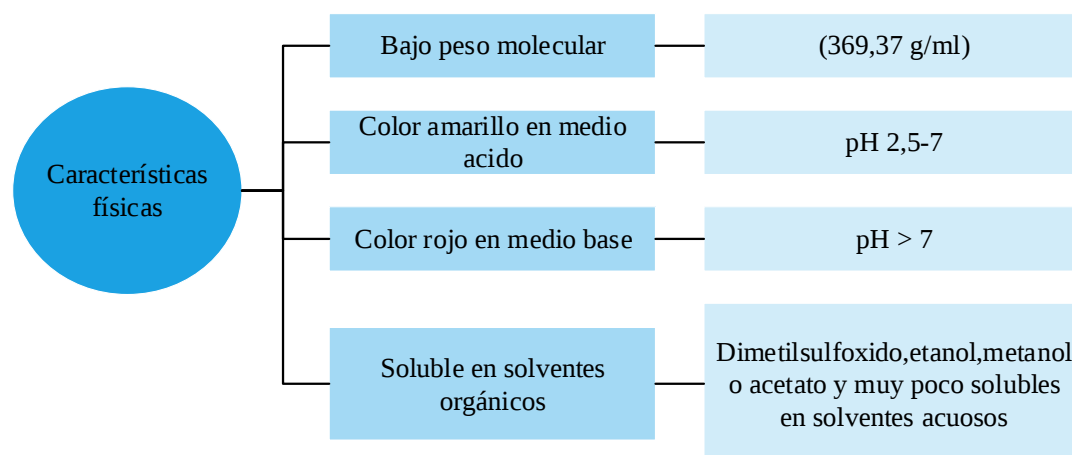


Fuente: Li et al, ^(β), 2011; Ammon et al, ^(μ), 1991; Hewlings & Kalman ^(ε), 2017

Figura 2.1: Tipos de extracto de curcumina

2.4. Características físicas del extracto de curcumina

La Figura 2.2 presenta las características físicas del extracto de la curcumina.



Fuente: Ríos et al, 2009

Figura 2.2: Características físicas del extracto de curcumina

2.4.1 Composición fisicoquímica del extracto de curcumina

Las propiedades fisicoquímicas del extracto de curcumina permiten conocer sus características y calidad. Estas propiedades, como el color, olor, sabor, pH, densidad, °Brix e índice de refracción, son importantes para determinar su comportamiento y uso en productos alimenticios (Arévalo y Sanaguano, 2021). En la Tabla 2.1, se detallan las propiedades fisicoquímicas del extracto de curcumina.

Tabla 2.1

Propiedades fisicoquímicas del extracto de curcumina

Componentes	Descripción
Color	Anaranjado rojizo
Sabor	Picante
Olor	Fuerte y característico al origen de su rizoma
Apariencia	Líquida
pH	6,38
Densidad	0,84
°Brix	60,55
Índice de refracción	1,44318

Fuente: Arévalo y Sanaguano, 2021

2.4.2 Propiedades nutricionales de la curcumina

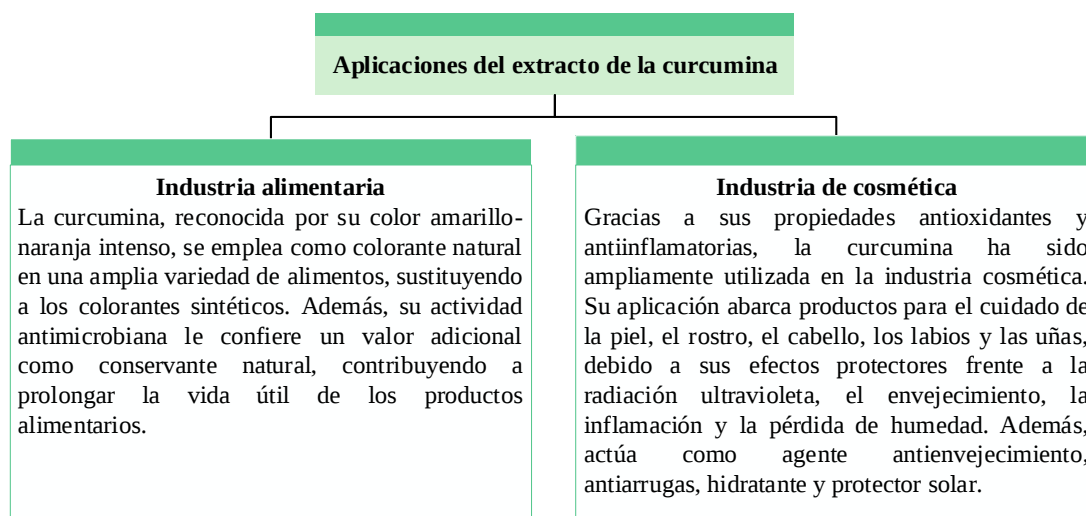
La curcumina se encuentra autorizada como aditivo colorante en la Unión Europea con el código E 100. Como tal, proporciona color amarillo y se puede utilizar en gran diversidad de productos (Rafecas et al, 2020).

La curcumina tiene un valor nutricional limitado, ya que su uso principal es como aditivo alimentario, no como fuente principal de nutrientes. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha fijado una Ingesta Diaria Admisible (IDA) para la curcumina de 210 mg/día en un adulto con un peso corporal de 70 kg en su opinión de reevaluación del aditivo alimentario curcumina (E 100) (Rafecas et al, 2020).

2.5 Aplicaciones del extracto de curcumina en las industrias alimentaria y cosmética

Por otra parte, es notorio que la demanda de curcumina ha crecido en los últimos años, en función de sus múltiples y beneficiosos usos, tanto en el campo cosmético debido a sus propiedades antioxidantes y despigmentantes; en la industria de alimentos, en donde destaca su uso como colorante alimenticio natural gracias a su potente color amarillo (Jiang et al, 2021).

Según Jiang et al, (2021); indica las dos aplicaciones del extracto de la curcumina y las cuales se presentan en la Figura 2.3.



Fuente: Jiang et al, 2021

Figura 2.3: Aplicaciones del extracto de curcumina

2.6 Caracterización del rizoma de la cúrcuma (*Curcuma Longa*)

La materia prima utilizada para la obtención del extracto de curcumina, la cúrcuma (*Curcuma Longa*), se describe a continuación:

2.6.1 Cúrcuma (*Curcuma Longa*)

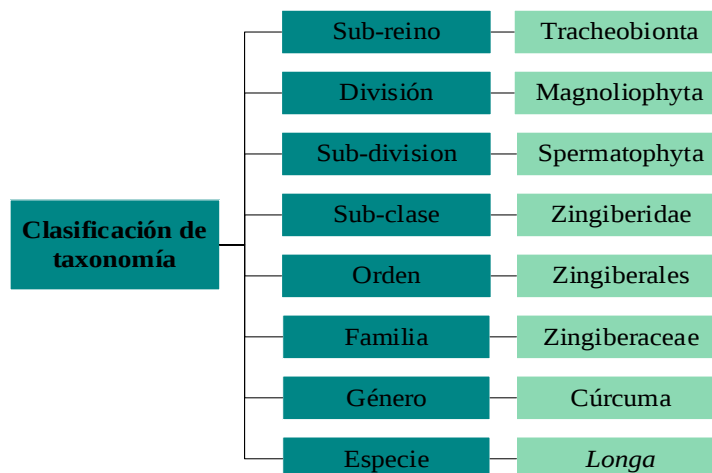
La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una planta de la familia Zingiberaceae originaria del Sur de Asia en donde es utilizada principalmente en diferentes platillos para otorgar color y sabor. Su principal colorante es la curcumina a la cual se le ha otorgado diferentes beneficios medicinales (Romo, 2023).

Es una planta herbácea, perene, rizomatosa de aproximadamente 1 m de alto; rizoma con un cuerpo principal globuloso u ovoide, denominado “bulbo o cúrcuma redonda”, de la cual salen uno o varios rizomas secundarios en forma de dedos largos entre (5-8) cm denominados “dedos” o “cúrcuma larga”. La raíz, tiene cada 3 o 4 cm bandas circulares (Canelo et al, 2017).

El rizoma de la planta, donde se encuentran los pigmentos curcuminoides, normalmente tiene unas dimensiones máximas de unos 7 cm de largo por 2,5 cm de ancho. El tiempo de maduración se encuentra entre (8 -10) meses (Falcón, 2022).

2.6.2 Taxonomía de cúrcuma

En la Figura 2.4 se muestra la clasificación de la taxonomía de los rizomas de cúrcuma:



Fuente: Romo, 2023

Figura 2.4: Taxonomía de la cúrcuma

2.6.3 Composición química del rizoma de *Curcuma Longa*

Según Arévalo y Sanaguano (2021) la cúrcuma es la especie más estudiada a nivel mundial, está constituida por hidratos de carbono 69,4% de la masa total, 6,3% de proteína, 3,5% de minerales, 5,1% de grasa y 13,1% de humedad de la masa total. Sin embargo, Rafecas et al. (2020) menciona que la cúrcuma está químicamente constituida por agua (13 %), carbohidratos (70 %), proteína (6 %), aceites esenciales (6 %), grasa (5 %), minerales (3 %), curcuminoides (2-9) % y trazas de vitamina. El contenido en curcuminoides en la cúrcuma varía entre (2-9) % (p/p), dependiendo de la localización geográfica o condiciones de cultivo.

2.6.4 Usos tradicionales y propiedades funcionales de la cúrcuma

En la medicina tradicional hindú utiliza la cúrcuma en las depuraciones, como ayuda digestiva, fiebres, infecciones, disentería, artritis y problemas hepáticos. Los médicos chinos recomiendan la cúrcuma en casos de hemorragia, trastornos hepáticos, problemas menstruales y congestión. Los antiguos griegos también utilizaban la cúrcuma por sus beneficios para la salud (Gonzales et al, 2015).

La cúrcuma se destaca por sus propiedades funcionales, tales como, actividad antiinflamatoria y anticancerígena, por lo que su incorporación en la dieta otorga potenciales beneficios a la salud (Macias et al, 2023).

2.6.5 Aplicaciones de los rizomas de cúrcuma

Los usos de la cúrcuma son diversos. Se usa como especia, como harina para procesos en las industrias alimentarias, farmacéuticas, cosméticas, también es usada en diversas medicinas tradicionales. En la industria de alimentos se usan extractos de cúrcuma como colorante de diferentes productos y los niveles de uso de la curcumina están en el rango entre (5-500) mg/kg (Llano, 2016).

En su estudio Humpire y Shiuji (2015) indican que la cúrcuma fue usada como colorante textil en las regiones de China. Este uso ha sido extendido como colorante para mostazas, sopas y caldos y en algunos productos cárnicos.

2.7 Caracterización de los reactivos utilizados para el extracto de curcumina

Para la extracción de extracto de curcumina se utilizó alcohol etílico y agua ultrapura, que se detalla a continuación:

2.7.1 Alcohol etílico

El alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con punto de ebullición de 78 °C. Mezclable con agua en cualquier proporción; a la concentración de 95% en peso se forma una mezcla azeotrópica (Hernández y Purihuaman, 2014).

Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), principal producto de las bebidas alcohólicas como el vino (alrededor de un 13%), la cerveza (5%) o licores (hasta un 50%) (Hernández y Purihuaman, 2014). El etanol o alcohol etílico puede obtenerse mediante dos procesos de producción: la destilación, que consiste en refinar bebidas fermentadas, y la fermentación, es decir, la descomposición de azúcares en diversas frutas (Jácome et al, 2023).

El alcohol etílico, se emplea como solvente orgánico polar en el proceso de extracción de compuestos bioactivos presentes en la cúrcuma, principalmente la curcumina. Su uso se basa en su capacidad para solubilizar compuestos fenólicos y pigmentos naturales, debido a su polaridad intermedia, lo que permite una eficiente ruptura de las membranas celulares del rizoma y facilita la liberación del principio activo. Actúa no solo como medio de transporte para los compuestos extraídos, sino también como un solvente seguro y autorizado para el procesamiento de ingredientes destinados a aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y cosméticas. Además, presenta ventajas importantes frente a otros disolventes, como su baja toxicidad, fácil disponibilidad, bajo costo y facilidad de recuperación mediante evaporación (Manasa et al, 2023).

2.7.2 Agua ultra pura

Según Pérez et al, (2016) define como agua ultrapura o altamente purificada la que se ajusta a un contenido bajo en contaminantes químicos. Su conductividad máxima es $5\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, medida a 25°C ; tiene menos contaminación bacteriana de 0,1UFC/ml (10UFC/100ml).

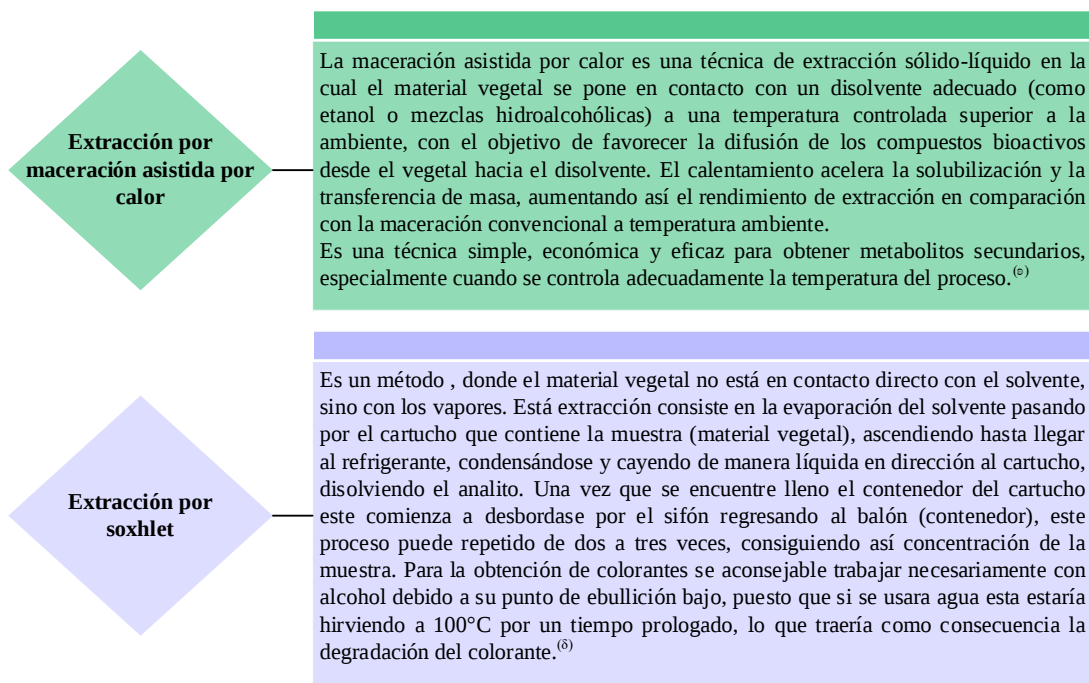
Se utiliza para el control microbiano sinérgico en la industria alimentaria, garantizando la inocuidad y calidad de los alimentos sin afectar sus parámetros organolépticos. El agua ultrapura se aplica como agente antimicrobiano en la desinfección de superficies y en el tratamiento higiénico de huevos, carnes, frutas y hortalizas. El agua ultrapura no solo es económica, sino que también es mucho más efectiva que los agentes de limpieza convencionales (Rebezov et al, 2022).

El agua ultrapura actúa como diluyente del alcohol etílico absoluto entre (96–99) % para obtener una concentración específica que permita una mejor solubilidad y eficiencia en la extracción de compuestos químicos. El uso de agua ultra pura de alta pureza en la preparación de disolventes asegura la estabilidad de los compuestos extraídos y evita la presencia de contaminantes (Rebezov et al, 2022).

2.8 Tipos de proceso tecnológico hacer empleado para el extracto de curcumina

La extracción sólida – líquido es un proceso que tiene como fin separar determinados componentes presentes en una fase sólida, empleando una fase líquida o disolvente (Salas y Tovalino, 2018).

Se aplican métodos como soxhlet, maceración o concentración en solventes como agua, metanol, etanol, o combinaciones de los mismos, la muestra puede encontrarse fresca o seca que haya sido sometida a un proceso de reducción de tamaño molienda, cortado o picado, lo cual facilitará la extracción (Tierra, 2018). En la Figura 2.5 se presentan los dos tipos de procesos tecnológicos empleados para el extracto de curcumina.



Fuente: Azwanida, 2015^(e); Cárdenas, 2021^(d)

Figura 2.5: Tipos de proceso para el extracto de curcumina

2.8.1 Factores que intervienen en el extracto de curcumina

Los factores que pueden influir en el extracto de curcumina y se detallan a continuación:

- **Tiempo**

Arevalo y Sanaguano (2021) evaluaron la extracción del colorante natural de cúrcuma mediante el método Soxhlet, utilizando etanol al 96 % como solvente y aplicando diferentes tiempos de extracción (60, 90 y 120 minutos). Los autores señalan que los mayores porcentajes de rendimiento se obtienen al incrementar el tiempo de extracción, debido a que el solvente permanece en mayor contacto con la materia prima, favoreciendo así una separación más eficiente de los compuestos. De manera complementaria, Posada et al. (2019) indica que un contacto prolongado entre la materia prima y el solvente permite extraer una mayor cantidad de compuestos, lo que incrementa la posibilidad de alcanzar un mejor rendimiento.

- **Solvente**

Moya (2021) señala que la concentración del disolvente en el proceso de extracción influye directamente en el porcentaje de curcumina presente en los extractos líquidos. En su estudio determinó que la concentración óptima corresponde al 95 % de etanol, concluyendo que una mayor concentración alcohólica favorece la extracción de compuestos fenólicos. Aravelo y sanaguano (2021) manifiesta que la concentración alcohólica mejora la extracción de compuestos fenólicos es decir al aumentar la concentración etanólicos se extrae mayor cantidad de compuestos fenólicos contenidos en la cúrcuma y su rendimiento es mayor. Septiano y Wuryatmo (2022), al trabajar con *Curcuma xanthorrhiza* Roxb., evidenciaron que tanto el aumento de la concentración de etanol (hasta un 90 %) como el incremento del tiempo de extracción (de 0 a 7 minutos con asistencia de microondas a 240 W) produjeron un aumento en el contenido de curcumina.

- **Temperatura**

Moya (2021) investigó la influencia de la temperatura de extracción (60, 70 y 80 °C) en el rendimiento del proceso, determinando que esta mejora significativamente al incrementar la temperatura. Esto se debe a que a mayor temperatura se incrementa la solubilidad del soluto, la concentración en el extracto y la velocidad de difusión. No

obstante, temperaturas excesivas pueden provocar reacciones químicas no deseadas en los compuestos de interés, lo que compromete la calidad del producto final.

2.9 Espectrofotometría UV-Visible

Es una técnica analítica experimental que permite determinar la detección específica de moléculas y la concentración de un compuesto en solución. Una de sus principales características es la precisión y sensibilidad, puede aplicarse a distintos estados de la materia (sólido, líquido, gas). Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Díaz et al, 2017).

De manera general la espectrofotometría UV permite la determinación cuantitativa y cualitativa de compuestos orgánicos, además, para la determinación de la concentración de compuestos en solución (Díaz et al, 2017).

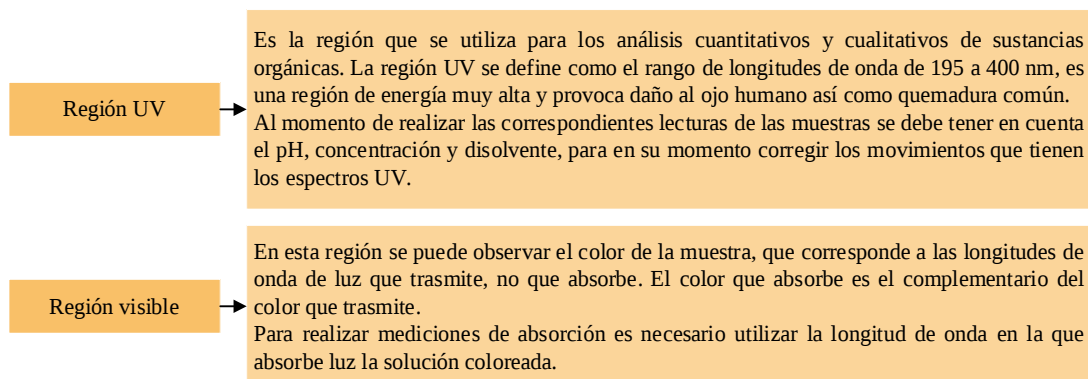
2.9.1 Fundamento del espectrómetro UV-Visible

El fundamento del espectrofotómetro se da por la capacidad de las moléculas de absorber radiaciones, específicamente las que se encuentran dentro del espectro UV. la eficiencia con la que se puede absorber las ondas de radiaciones depende de la estructura de la molécula y las condiciones en las que se encuentra, por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomolecular (Díaz et al, 2017).

Cruz y Hinojosa (2015) postulan en su teoría la radiación ultravioleta o visible puede ser absorbida por las sustancias, lo que causa que sus átomos pasen de estado basal a estado excitado. Esa energía (luz) que necesita absorber a diferentes longitudes de ondas para alcanzar ese estado de excitación es propia de cada molécula por lo que permite identificar un compuesto o grupos funcional.

2.9.2 Región UV y región visible en el espectrofotómetro

En la Figura 2.6, se detallan las dos regiones que comprende la espectrofotometría.



Fuente: Díaz et al, 2017

Figura 2.6: Regiones de la espectrofotometría

2.9.3 Método analítica del espectrofotométrico

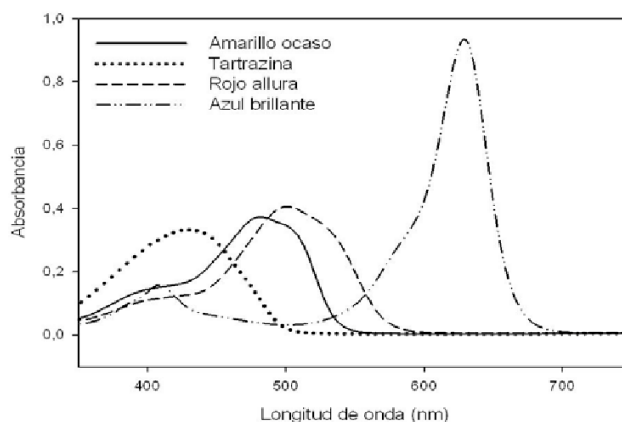
La etapa inicial de un análisis espectrofotométrico implica la determinación de las condiciones experimentales que aseguren una correlación lineal entre la absorbancia y la concentración del analito. En la Figura 2.7 se muestran las dos etapas que se deben seguir de un análisis espectrofotométrico.

Selección de longitud de onda	Curva de calibración
La longitud de onda de trabajo corresponde, generalmente, a la longitud de onda en la cual la absorbancia del analito (sustancia a analizar) es máxima, para seleccionar la longitud de onda, se hace un espectro de absorción o curva espectral, y que consiste en una gráfica de la absorbancia de una solución de la sustancia absorbente de concentración adecuada, medida a distintas longitudes de onda y en ella se determina la longitud de onda máxima. Las mediciones de absorbancia se hacen en la zona de longitudes de onda donde se espera que absorba la sustancia problema. Si se trata de sustancias coloreadas, las mediciones se realizan en la zona visible del espectro electromagnético (380 a 800 nm). En el caso de sustancias no coloreadas, las mediciones se realizan en la región ultravioleta del espectro electromagnético (200 a 380 nm).	Uno de los métodos más utilizados para determinar la concentración de una muestra problema, es el método de la curva de calibración. Esta curva de calibración es una gráfica que relaciona la concentración de al menos cinco soluciones de estándar de concentraciones conocidas, con la absorbancia de cada uno de ellos a la longitud de onda máxima.

Fuente: Quispe, 2024

Figura 2.7: Análisis espectrofotométrico

En la Figura 2.8, se observa la absorbancia obtenida a partir de una solución, sometida a un escaneo espectral en el rango visible mediante espectrofotometría UV-Vis. Este análisis permite determinar la longitud de onda en la cual se presenta el valor máximo de absorbancia, denominada longitud de onda máxima (Rodríguez, 2013).



Fuente: Rodríguez, 2013

Figura 2.8: Espectros de absorción

2.9.4 Absorbancia y transmitancia

La absorbancia es un concepto más relacionado con la muestra, puesto que indica la cantidad de luz absorbida por la misma. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales, la transmitancia es del cien por ciento e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda. 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 este (Catalán, 2016). Según Skoog et al (2015) menciona que la absorbancia de una disolución está relacionada con la transmitancia de una forma logarítmica. En la ecuación 2.1, se muestra el cálculo de la absorbancia.

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0} = \log \frac{P_0}{P} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

A: Absorbancia

T: Transmitancia

P: Potencia (o intensidad) de la radiación transmitida por la muestra

P₀: Potencia (o intensidad) de la radiación incidente sobre la muestra

La transmitancia 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 y la cantidad de luz que incidió sobre ella, y se representa normalmente en tanto por ciento. La transmitancia da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra (Catalán, 2016).

La transmitancia de la disolución es la fracción incidente de la radiación transmitida por la disolución. A menudo la transmitancia es expresada como un porcentaje el cual es llamado porcentaje de transmitancia (ecuación 2.2) (Skoog et al, 2015).

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\% \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

T: Transmitancia, una magnitud adimensional

P: Potencia (o intensidad) de la radiación transmitida por la muestra

P₀: Potencia (o intensidad) de la radiación incidente sobre la muestra

2.9.5 Ley de Lambert-Beer

La ecuación (2.3) muestra el cálculo de la Ley de Lambert-Beer que expresa la relación entre la absorción de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución:

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

Donde:

A: Absorbancia

l: Intensidad de la luz transmitida (después de atravesar la muestra)

I₀: Intensidad de la luz incidente (antes de atravesar la muestra)

ϵ : Coeficiente molar de extinción [L/mol cm]

c : Concentración molar [mol/L]

l : Distancia [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 dependen de la distancia que recorre la luz por la solución a igual concentración, cuanto mayor distancia recorre la luz por la muestra más moléculas se encontrará; y por último depende de un constante de proporcionalidad denominada coeficiente de extinción; que es especificada de cada cromóforo (Uyaguari, 2017).

La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de concentraciones altos, el coeficiente molar (ϵ) varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz (Quelca, 2012).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, ambos dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

3.2 Tipo de intervención experimental

En el presente trabajo de investigación se utilizó la metodología experimental a nivel de laboratorio, con la finalidad de maximizar el rendimiento y la calidad del extracto de curcumina en base a los siguientes análisis:

- Análisis físicos, fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de los rizomas de cúrcuma variedad (*Curcuma Longa*)
- Análisis cuantitativo del extracto comercial de curcumina
- Análisis cuantitativo de las pruebas experimentales del extracto de curcumina
- Análisis diseño factorial 2^3 para determinar el rendimiento del extracto de curcumina.
- Operacionalización de las variables en la determinación del rendimiento para el extracto curcumina.

3.3 Paradigma investigativo

El conocimiento de la realidad consiste en acercarse a ella, desvelarla y conocerla, con el fin de mejorarla, pues la realidad es algo que nos viene dado, lo que existe, el ámbito en el que se desarrolla la vida del hombre y todo aquello con lo que se relaciona. Implica el saber dónde se está, a dónde se quiere ir y cómo hacerlo (Martínez, 2013).

Según Flores (2004), indica que un paradigma “engloba un sistema de creencias acerca de la realidad, de la relación del que investiga con el objeto, de la naturaleza del conocimiento y las formas de proceder para buscarlo y generarlo” (pp. 3-9).

3.3.1 Paradigma positivista

Este paradigma plantea la posibilidad de llegar a verdades absolutas en la medida en que se abordan los problemas y se establece una distancia significativa entre el investigador y el objeto de estudio (Miranda, 2020). Según Ricoy (2006), “el paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico”. Por tanto, el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica.

3.4 Enfoque de investigación

Su proceso de investigación se concentra en las mediciones numéricas. Utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder sus preguntas de investigación. Este enfoque utiliza los análisis estadísticos. Se da a partir de la recolección, la medición de parámetros, la obtención de frecuencias y estadígrafos de población. Plantea un problema de estudio delimitado y concreto (Hernández et al, 2010). Para Padilla y Marroquín (2021) afirma que el enfoque cuantitativo se caracteriza por ser “secuencial, orientado a una realidad objetiva, deductivo y probatorio”. Este enfoque implica el uso de herramientas matemáticas y estadísticas para llegar a resultados. Estos datos permiten identificar asociaciones explicativas o relaciones causales entre variables.

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

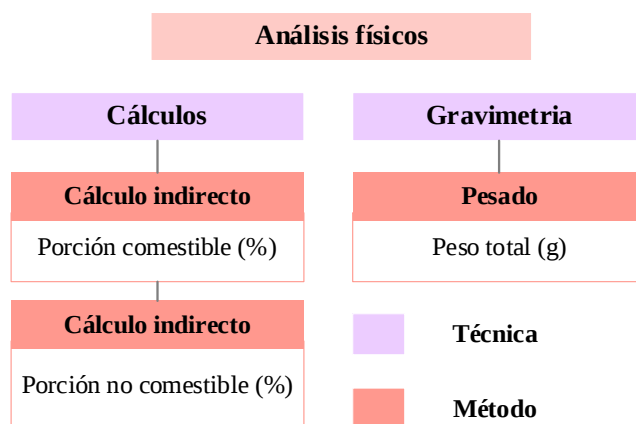
Según Guerrero y Guerrero (2020) “La metodología de la investigación es el conjunto de procedimientos y técnicas que se aplican de manera ordenada, sistemática y rigurosa

en la realización de un proceso de investigación. La metodología es la parte del proceso en que se decide el conjunto de técnicas y métodos que se emplearán para llevar a cabo las acciones relacionadas para el logro de una investigación”.

La técnica es el conjunto de instrumentos, a través de los cuales se efectúa el método; el método es el camino, la técnica proporciona las herramientas para recorrer ese camino, la técnica propone las normas para ordenar las etapas del proceso de investigación; proporciona instrumentos de recolección, clasificación, medición, correlación y análisis de datos. (Münch & Ángeles, 2009).

3.5.1 Análisis físicos de los rizomas de cúrcuma

En la Figura 3.1, se puede observar los métodos y técnicas utilizados para los análisis físicos en los rizomas de cúrcuma, realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

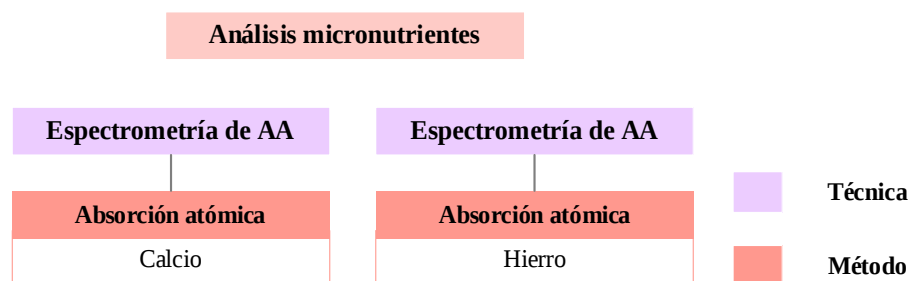


Fuente: LACIA, 2025

Figura 3.1: Análisis físicos de los rizomas de cúrcuma

3.5.2 Análisis de los micronutrientes de los rizomas de cúrcuma

En la Figura 3.2, se puede observar los métodos y técnicas utilizados para los análisis de micronutrientes de los rizomas de cúrcuma, realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

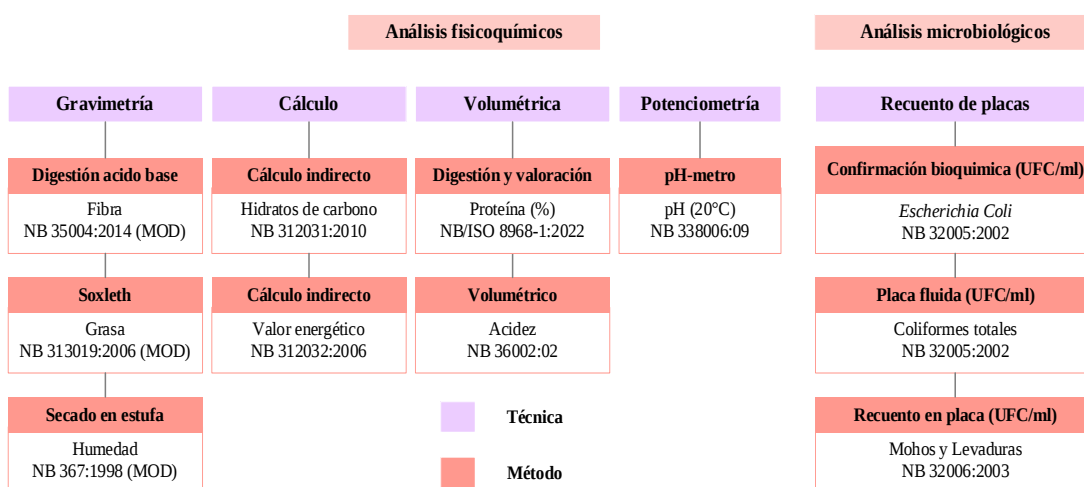


Fuente: CEANID, 2025

Figura 3.2: Técnica y métodos para determinar los análisis de micronutrientes de los rizomas de cúrcuma

3.5.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los rizomas de cúrcuma

En la Figura 3.3, se puede observar los métodos y técnicas utilizados para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los rizomas de cúrcuma, realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología, perteneciente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: CEANID, 2025

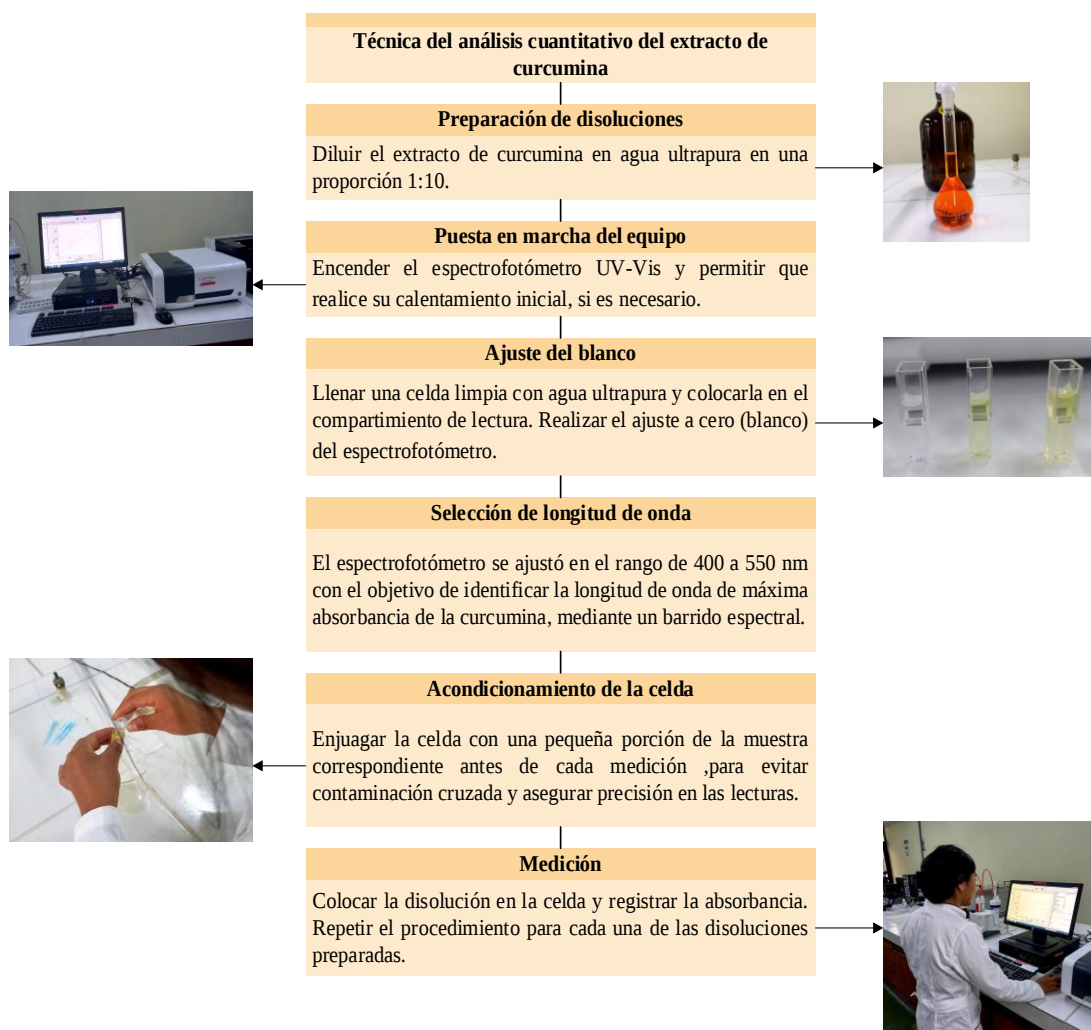
Figura 3.3: Técnica y métodos para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los rizomas de cúrcuma

3.5.4 Caracterización de la técnica espectrofotométrica para el análisis cuantitativo del extracto de curcumina

La caracterización de la técnica espectrofotométrica permite definir los parámetros necesarios para el análisis cuantitativo del extracto comercial de curcumina y el

extracto de curcumina, realizados en el Laboratorio de Suelos Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales perteneciente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

En la Figura 3.4 se presenta la técnica empleada para el análisis cuantitativo del extracto de curcumina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Técnica espectrofotométrica para el análisis cuantitativo

3.6 Equipos, instrumentos, materiales, utensilios y reactivos químicos de laboratorio

En el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes equipos, instrumentos, utensilios, materiales y reactivos químicos de laboratorio, los cuales se detallan a continuación:

3.6.1 Equipos de laboratorio

En la Figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio que se utilizaron para el presente trabajo de investigación y se detallan (Anexo A).

Frezeer ^(Ω)	Espectrofotómetro ^(β)
Características técnicas	Características técnicas
• Marca: LABCOLD • Frecuencia: 50/60Hz • Operación: Manual • Conexión: Eléctrica	• 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
Baño maría ^(Ω)	Centrifuga ^(β)
Características técnicas	Características técnicas
• Marca: Nahita • Modelo:Model 601 • Capacidad: 12L • Potencia: 1000W • Energía: 220V-50Hz • Operación:Manual	• Marca: HETTICH-BOECO • Modelo: U-320 • Velocidad: 15,000 rpm • Dimensiones: 260x275x344mm • Peso neto: 11,5kg • Industria: Alemana • Operación: Manual

Fuente: LACIA, 2025 ^(Ω); Laboratorio de Suelos, 2025^(β)

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 se utilizaron en el presente trabajo de investigación y se detallan (Anexo A), que pertenecen al Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Balanza analítica ^(β)	Balanza de precisión ^(Ω)	Bureta semiautomática ^(β)	Pipeta semiautomática ^(β)
Características técnicas	Características técnicas	Características técnicas	Características técnicas
• Marca: RADWAG • Modelo: AS 310.R2 • Capacidad: 10 – 310 mg • Error: 1 mg • Operación: Manual • Industria: Polaca	• Marca: RADWAG • Modelo: 4500.R2 • Capacidad: 0,5 g- 4500 g • Error: 0,1 g • Operación: Manual	• Marca: OPUS • Capacidad: 50 ml • Sensibilidad: 0,01 ml • Dimensiones/peso: 55x130x110 mm (altura x profundidad x anchura)/230 g • Operación: Manual	• Marca: PIPETTE-L3 • Moledo: Slamed germany • Sensibilidad: ≤ 0,001µl • Volumen probado: 0,1-10 ml • Operación: Manual • Industria: Alemana
Micropipeta semiautomática ^(β)	Termobalanza ^(β)	Moedor de granos ^(Ω)	
Características técnicas	Características técnicas	Características técnicas	
• Marca: COMECTA • Modelo: 5901000 • Capacidad: 100 - 1000 µl • Precisión: ± 0,6 % / 3µl • Exactitud: ± 2,4 % / 12µl • Operación: Manual • Industria: Española	• Marca: METTLER TOLEDO • Modelo: HE53/01 • Capacidad max.: 71 g • Intervalo de temperatura: 50-200°C • Repetibilidad (peso de control): 50 g • Legibilidad de humedad: 0,01% • Operación: Manual	• Marca: Li-Helper • Modelo: Electric Grinder • Voltaje: 220 V 50/60 H • Potencia: 200 W • Material: Acero inoxidable • Velocidad: 14500 rpm • Operación: Manual	

Fuente: LACIA, 2025^(Ω); Laboratorio de Suelos, 2025^(β)

Figura 3.6: Especificaciones técnicas de instrumentos de laboratorio

3.6.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio (Tabla 3.1) utilizados en el presente trabajo de investigación y se detallan en el (Anexo A).

Tabla 3.1

<i>Material de laboratorio</i>			
Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo
Espátula	1	Pequeño	Acero inoxidable
Vaso precipitado	8	600 ml	Vidrio
Embudo	2	100 ml	Plástico
Papel filtro	8	50 x 50 cm	Celulosa
Tubos de ensayo	16	20 ml	Plástico
Probeta	2	100 ml	Vidrio
Termómetro de alcohol	1	0-100 °C	Vidrio
Gradilla	1	Pequeño	Plástico
Varilla	2	Pequeño	Vidrio
Puntas	16	Pequeña-mediana	Plástico
Celdas	4	1 ml	Polipropileno
Matraz aforado	1	100 ml	Vidrio

Fuente: LACIA, 2025

3.6.4 Utensilios de cocina

En la Tabla 3.2, se muestran los utensilios de cocina utilizados en el presente trabajo de investigación y se detallan en el (Anexo A).

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

Utensilios	Cantidad	Capacidad	Tipo de material
Papel aluminio	2	7,5 m	Aluminio
Peladora de papa manual	1	Pequeño	Acero inoxidable
Recipientes	2	Mediano	Acero inoxidable

Fuente: LACIA, 2025

3.6.5 Reactivos químicos de laboratorio

En la Tabla 3.3, se describen los reactivos químicos de laboratorio utilizados para el proceso de extracción del presente trabajo de investigación.

Tabla 3.3

Descripción de reactivos químicos

Reactivos	Procedencia	Concentración	Procedencia
Alcohol etílico	Boliviana	96%	AlcoSur
Agua ultra pura	Boliviana	0,055 μ S/cm	-

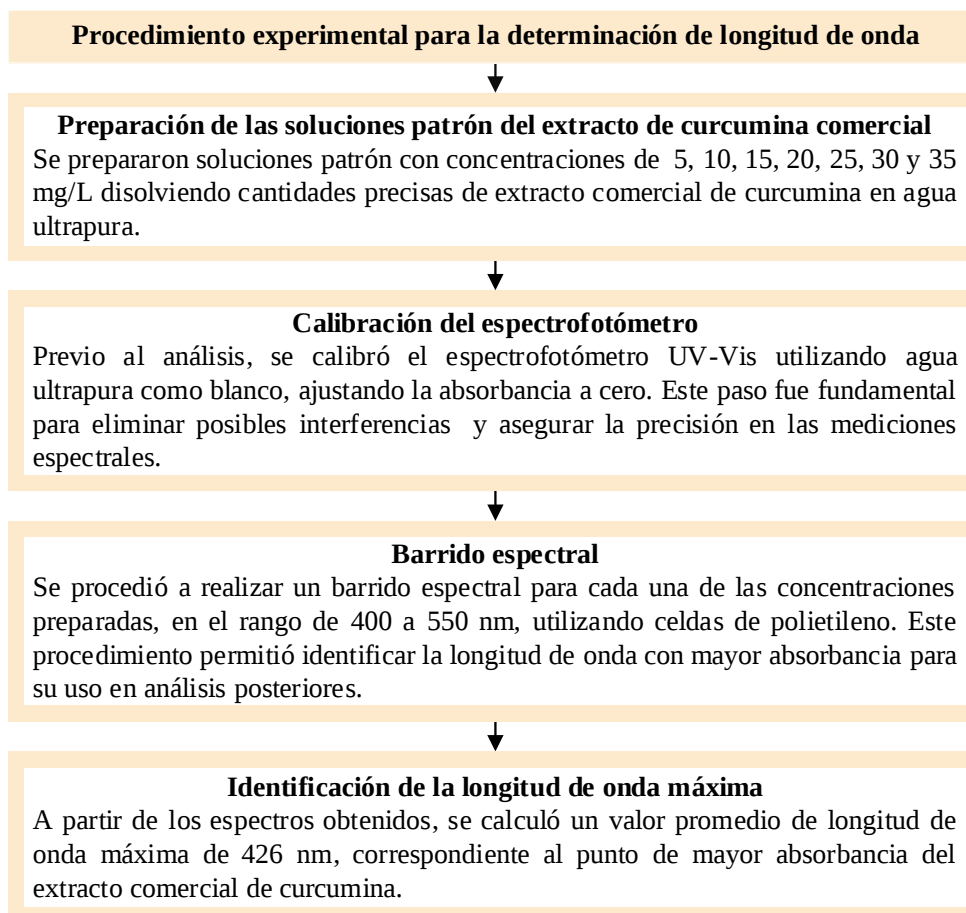
Fuente: Elaboración propia

3.7 Caracterización del procedimiento experimental del extracto de curcumina

Para la caracterización del procedimiento experimental del extracto de curcumina, se describen a continuación los procedimientos experimentales realizados:

3.7.1 Procedimiento experimental para determinación de longitud de onda del extracto comercial de curcumina

En la Figura 3.7, se muestra el procedimiento experimental para la determinación de longitud de onda (λ) del extracto comercial de curcumina (Anexo B).

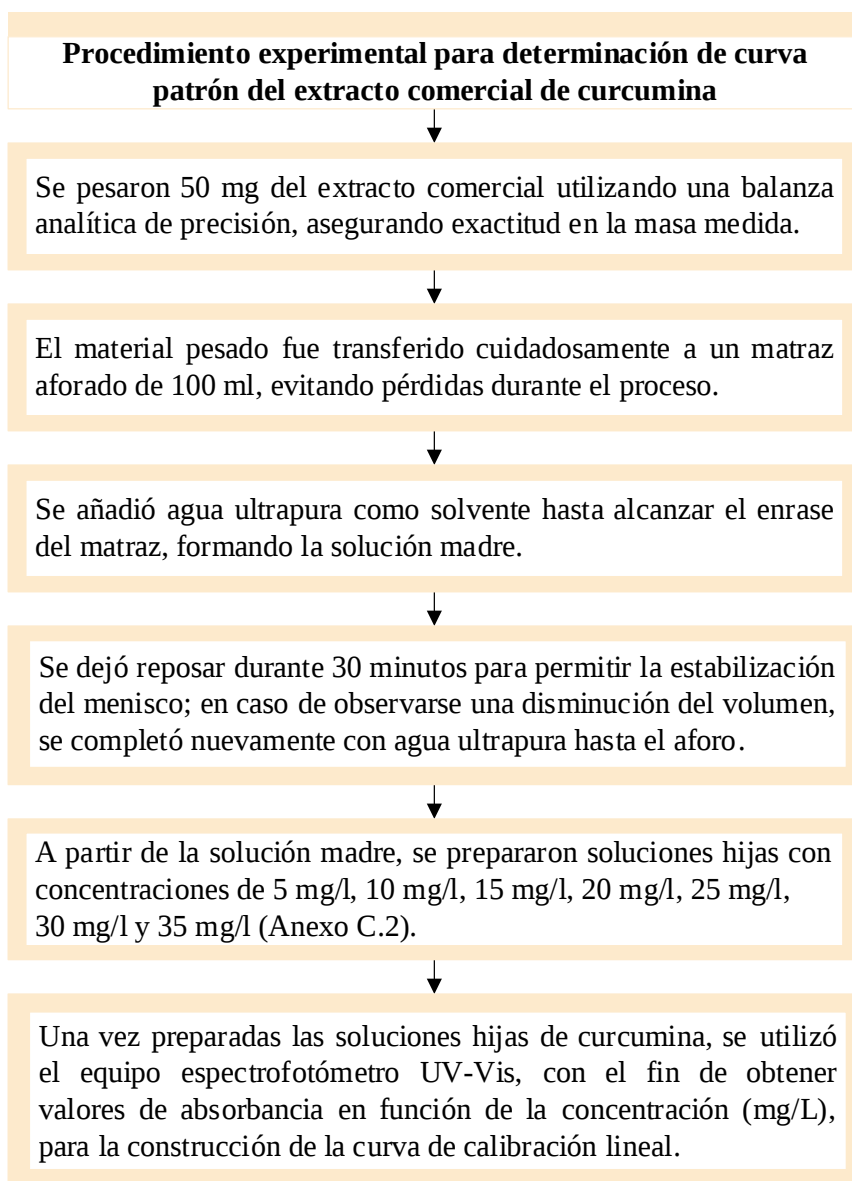


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Procedimiento experimental para determinar longitud de onda del extracto comercial de curcumina

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

En la Figura 3.8, se muestra el procedimiento experimental para la determinación de curva patrón del extracto comercial de curcumina (Anexo C).

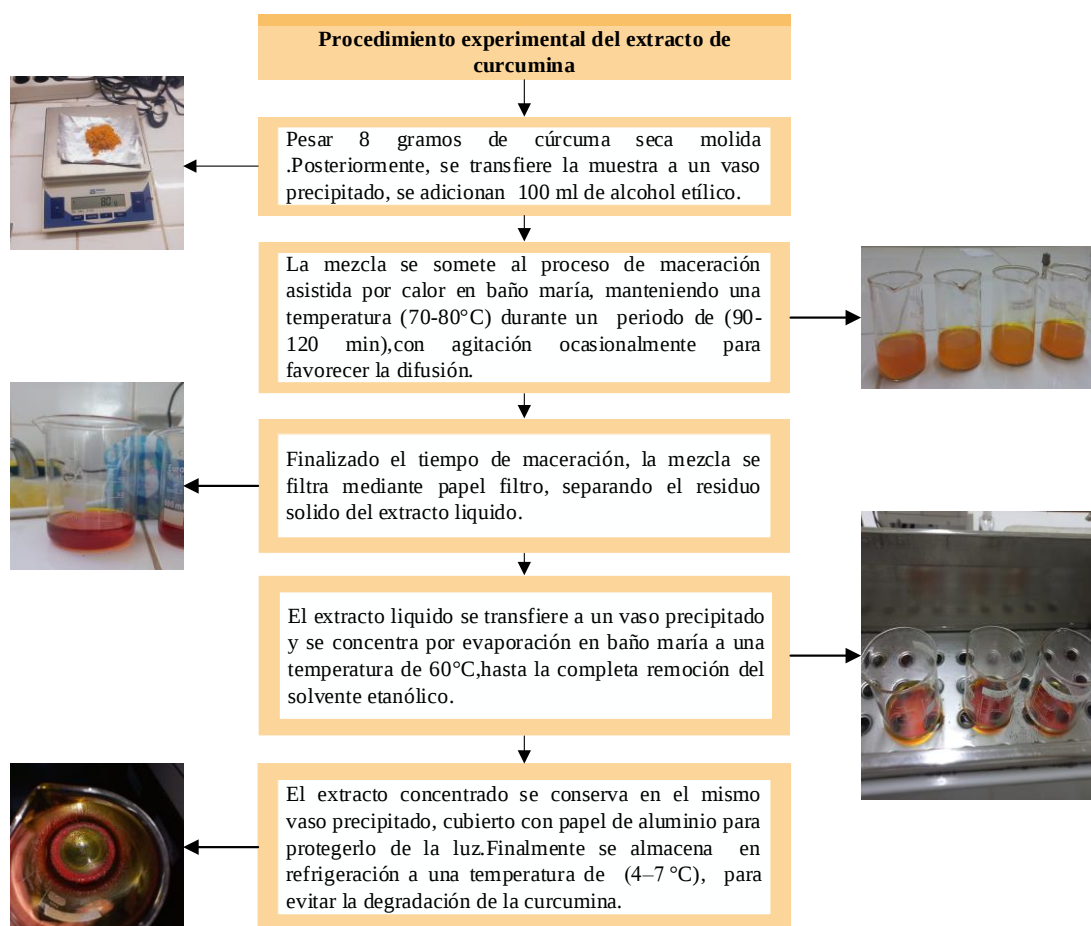


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Procedimiento para determinar de la curva patrón del extracto comercial de curcumina

3.7.3 Procedimiento experimental para la extracción del extracto de curcumina

En la Figura 3.9, se muestra el procedimiento experimental para la extracción del extracto de curcumina (Anexo D).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Procedimiento experimental para la extracción del extracto de curcumina

3.7.4 Procedimiento experimental para el análisis cuantitativo del extracto de curcumina

En la Figura 3.10, se muestra el procedimiento experimental para el análisis cuantitativo del extracto de curcumina (Anexo E).

Procedimiento experimental del análisis cuantitativo para el extracto de curcumina

Se tomó una alícuota de 0,1 ml del extracto concentrado y se transfirió a un tubo de ensayo cónico, empleando micropipetas debido al bajo volumen requerido.

A continuación, se añadieron 9,9 ml de Alcohol al 96%, se tapó el tubo y se agitó suavemente para garantizar una mezcla homogénea.

Posteriormente, se extrajo una alícuota de 1 ml de la primera dilución y se transfirió a un segundo tubo de ensayo.

Se incorporaron 9 ml de agua ultrapura, se cerró el tubo y se agitó nuevamente para asegurar una segunda dilución uniforme.

Se extrajo 1 ml de la segunda dilución empleando una micropipeta calibrada, y se depositó en un tercer tubo de ensayo para continuar con la serie de diluciones.

Se agregan 9 ml de agua ultrapura, se cerró el tubo y se agitó nuevamente para asegurar una tercera dilución uniforme.

Una vez preparada la tercera dilución, se extrae 4 ml de la misma y se transfirió a un cuarto tubo de ensayo limpio.

Se añaden 6 ml de agua ultrapura, se cerró el tubo y se agitó nuevamente para asegurar una cuarta dilución uniforme.

Introducir las muestras en las celdas de polietileno del espectrofotómetro y dar lectura, teniendo en cuenta que la primera lectura se hace al blanco. Para el blanco se utiliza el agua ultrapura.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Procedimiento de caracterización del extracto de curcumina

3.8 Diseño experimental

Según Rosero (2021) El diseño experimental es el proceso para llevar a cabo la planeación del experimento para poder recolectar los datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que producirán conclusiones objetivas y válidas. (p. 10). Sin embargo, Hernández et al, (2014) indica que el diseño experimental es el control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos). Así mismo Gutiérrez y Salazar (2008), consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.

3.8.1 Diseño factorial 2^k

Se conoce como diseño factorial, a cada réplica completa del experimento que se investigan, tomando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. Se define como efecto de un factor al cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor (Hernández et al, 2014). Diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores (Gutiérrez y Salazar, 2008, p. 128).

En el diseño 2^3 se considera tres factores, A, B y C, cada uno con dos niveles. En este caso la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos puede hacerse con un cubo. De la misma forma, se pueden utilizar la notación “+” y “-” para representar los niveles alto y bajo de los factores. A esta se la conoce ocasionalmente como la matriz del diseño. Asimismo, las combinaciones de los tratamientos en el orden estándar se escriben como (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc. (Rosero, 2021)

Este diseño factorial corresponde, según la ecuación 3.1:

$$2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Dónde:

2 = Número de niveles

K = Número de variables

Según Montgomery (2013), el modelo de regresión es una herramienta estadística que permite representar la relación entre una variable dependiente (respuesta) y una o más variables independientes (factores). Se utiliza para cuantificar el efecto que tienen los factores y sus combinaciones sobre la respuesta medida.

En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión:

$$y = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_C C + \beta_{AB} AB + \beta_{AC} AC + \beta_{BC} BC + \beta_{ABC} ABC \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

y = Variable respuesta

β_0 = Representa el intercepto o promedio general

$\beta_A, \beta_B, \beta_C$ = Coeficientes de efectos principales

$\beta_{AB}, \beta_{AC}, \beta_{BC}$ = Coeficientes de interacciones dobles

β_{ABC} = Coeficientes de interacción triple

A, B, C = Factores codificados (-1 nivel bajo, +1 nivel alto)

3.8.2 Diseño factorial 2^3

En el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño factorial 2^3 con ocho tratamientos para investigar si hay diferencia en los resultados obtenidos en la determinación del rendimiento en el extracto de curcumina, según a la ecuación 3.3:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ Tratamientos (pruebas)} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

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

A=Concentración de alcohol (%) (2 niveles)

B=Tiempo de maceración (min) (2 niveles)

C=Temperatura de maceración (°C) (2 niveles)

En la Tabla 3.4, muestra la matriz del diseño factorial que se utilizó en la realización del presente trabajo, conformado por tres variables independientes: concentración de alcohol etílico (A), tiempo de maceración (B) y temperatura de maceración (C) y una variable dependiente: rendimiento (%) determinado a partir de tres réplicas totales.

Tabla 3.4

Matriz experimental para determinar el rendimiento

Combinaciones	Factores			Interacciones				Total		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
(1)	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
a	+ 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
b	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
ab	- 1	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
c	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	- 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
ac	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
bc	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
abc	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.5, se presenta la variación de los factores (nivel alto y bajo) que se aplicó para el extracto de curcumina conformado por las tres variables: concentración de alcohol etílico (A), tiempo de maceración (B) y temperatura de maceración (C).

Tabla 3.5

Niveles de variación de los factores para el extracto de curcumina

Variables		Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Concentración de alcohol	(A)	%	90	95
Tiempo de maceración	(B)	min	90	120
Temperatura de maceración	(C)	°C	70	80

Fuente: Elaboración propia

3.9 Operacionalización de las variables para la determinación del rendimiento en el extracto de curcumina

Según Babbie (2000), la operacionalización es el desarrollo de los procedimientos concretos de Investigación (operaciones) que darán por resultado observaciones de las representaciones de dichos conceptos en la realidad (p. 117). En la Tabla 3.6, se presenta la operacionalización de las variables dependientes e independientes para el extracto de curcumina

Tabla 3.6

Operacionalización de variables para el extracto de curcumina

Hipótesis	Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
La aplicación del método de extracción por solvente permitirá obtener extracto de curcumina a partir de los rizomas de cúrcuma (<i>Curcuma Longa</i>) en el departamento de Tarija, permitiendo determinar el rendimiento máximo.	Variable independiente	El extracto de curcumina es obtenido del rizoma de cúrcuma (<i>cúrcuma longa L.</i>). Se caracteriza por su color amarillo intenso y poseer propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. (Gupta et al, 2013)	Método Espectrofotométrico UV-Vis	Rendimiento (%)
	Variable dependiente	La maceración asistida por calor es una técnica de extracción que utiliza el calentamiento controlado del solvente para incrementar la solubilidad y difusión de los compuestos activos presentes en el material vegetal, (Macias, 2023).	Concentración de alcohol Tiempo de maceración Temperatura de maceración	% min °C

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

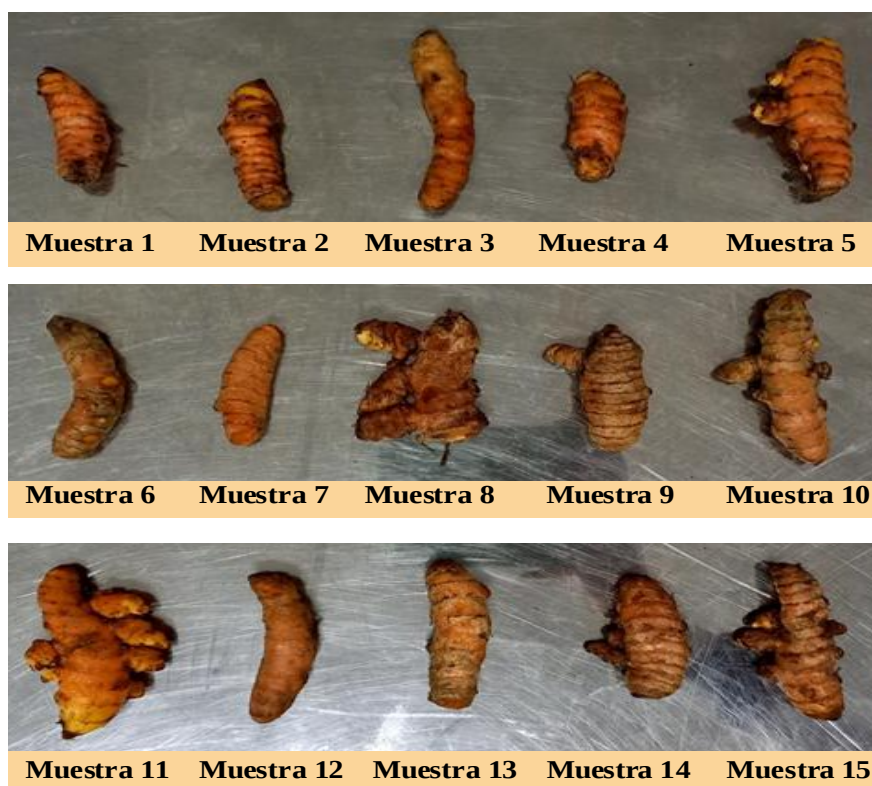
CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 Caracterización de la cúrcuma (*Curcuma Longa*)

Para realizar la caracterización de la cúrcuma, se tomaron en cuenta las propiedades físicas, fisicoquímicas, microbiológico y micronutrientes; que se detallan a continuación:

4.1.1 Caracterización física de rizomas de cúrcuma

En la Figura 4.1 se observan las 15 muestras de rizoma de cúrcuma (*Curcuma Longa*) en las cuales se realizó los análisis físicos de: porción comestible y porción no comestible (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Muestras de rizomas de cúrcuma

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados de los parámetros físicos de rizomas de cúrcuma, estos datos corresponden a un total de 15 muestras seleccionadas al azar y aleatoriamente de datos extraídos de la Tabla F.1 (Anexo F)

Tabla 4.1

<i>Parámetros físicos de rizomas de cúrcuma</i>		
Componentes	Unidad	Valor
Peso promedio total	g	19,31
Peso comestible	g	13,80
Peso no comestible	g	5,51
Porcentaje peso comestible	%	71,44
Porcentaje peso no comestible	%	28,56

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis físico de los rizomas de cúrcuma. El peso total promedio fue de 19,31 g, de los cuales 13,80 g corresponden al peso comestible y 5,51 g al peso no comestible. De igual manera, se calculó el porcentaje de peso comestible con un valor de 71,44 %, mientras que la no comestible el 28,56 %.

4.1.2 Análisis fisicoquímico de los rizomas de cúrcuma

En la Tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de rizomas de cúrcuma de datos extraídos del (Anexo G).

Tabla 4.2

<i>Análisis fisicoquímico de rizomas de cúrcuma</i>		
Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Resultados
Acidez	g/100g	n.d
Ceniza	g/100g	1,26
Fibra	g/100g	1,32
Grasa	g/100g	0,21
Hidratos de carbono	g/100g	11,66
Humedad	g/100g	85,98
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	0,89
pH	-	6,55
Valor energético	Kcal/100 g	53
(n.d) no es detectable		

Fuente: CEANID, 2025

Como se observa en la Tabla 4.2, se expresan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de rizomas de cúrcuma, que contiene: acidez n.d (no detectable), ceniza 1,26 g/100g, fibra 1,32 g/100g, grasa 0,21 g/100g, hidratos de carbono 11,66 g/100g, humedad 85,98 g/100g, proteína total (N x 6,25) 0,89 g/100g, pH 6,55 y valor energético 53 Kcal/100g.

4.1.3 Análisis micronutrientes de los rizomas de cúrcuma

En la Tabla 4.3, se presentan los resultados obtenidos del análisis micronutrientes de los rizomas de cúrcuma de datos extraídos del (Anexo G).

Tabla 4.3

<i>Análisis micronutrientes de rizoma de cúrcuma</i>		
Parámetros micronutrientes	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100g	13,8
Hierro	mg/100g	0,77

Fuente: CEANID, 2025

Como se puede observar en la Tabla 4.3, se expresan los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de rizomas de cúrcuma, que contiene: calcio 13,8 mg/100g y hierro 0,77 mg/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico de los rizomas de cúrcuma

En la Tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de rizomas de cúrcuma de datos extraídos del (Anexo G).

Tabla 4.4

<i>Análisis microbiológico de rizomas de cúrcuma</i>		
Parámetros microbiológicos	Unidad	Resultados
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes totales	UFC/g	$3,8 \times 10^3$
Mohos y levaduras	UFC/g	$3,7 \times 10^4$
(*) no se observa el desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2025

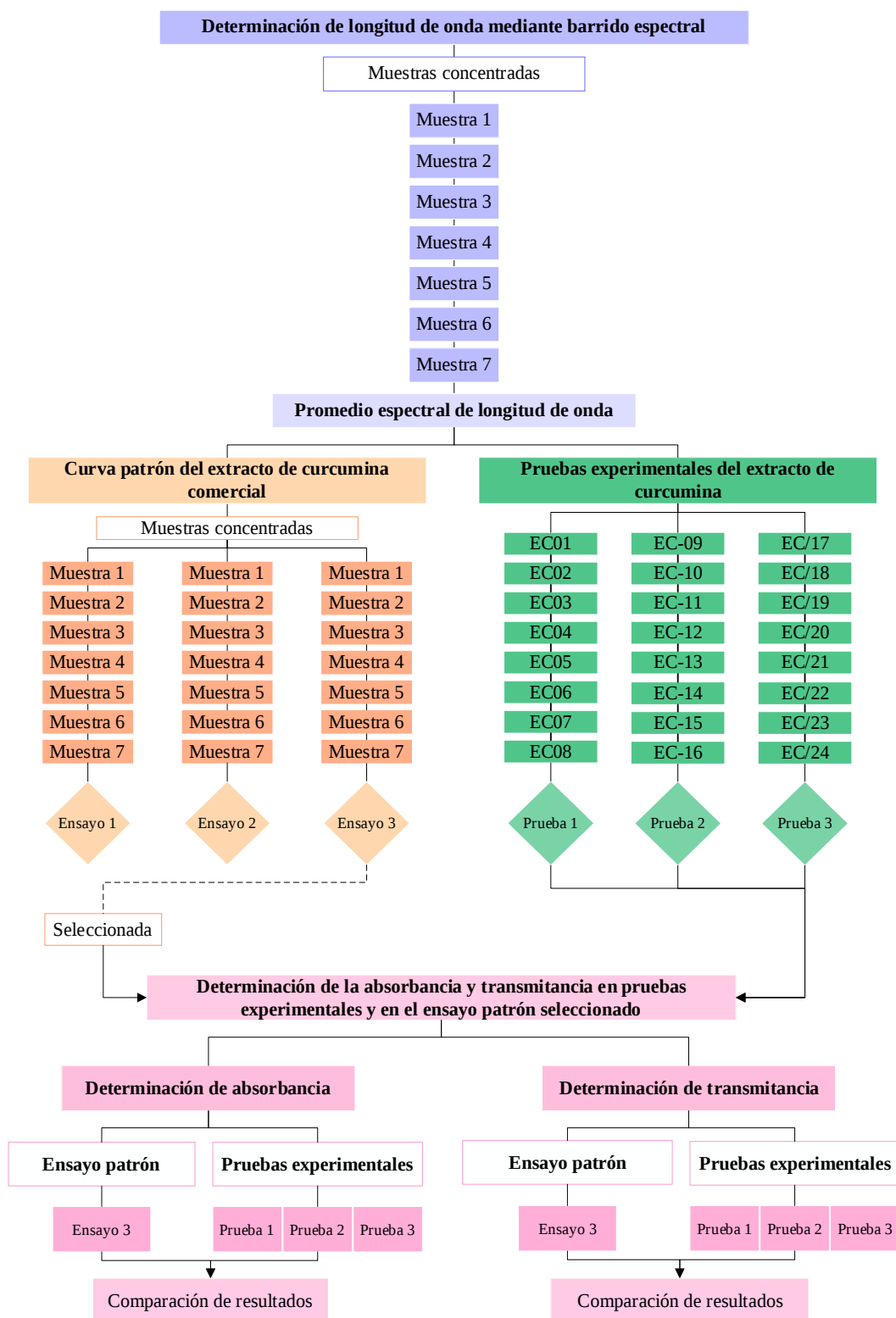
Como se observa en la Tabla 4.4, se expresan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de rizomas de cúrcuma que presenta: *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, coliformes totales $3,8 \times 10^3$ UFC/g y mohos y levaduras $3,7 \times 10^4$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables para el extracto de curcumina

Para la caracterización de las variables del extracto de curcumina, se tomó en cuenta los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

4.2.1 Metodología del análisis cuantitativo para pruebas experimentales del extracto de curcumina

En la Figura 4.2, se presenta la metodología aplicada para el análisis cuantitativo del extracto de curcumina, se inicia con la determinación de la longitud de onda máxima de absorción, utilizando siete muestras (muestra 1, muestra 2, muestra 3, muestra 4, muestra 5, muestra 6 y muestra 7) del extracto comercial de curcumina con diferentes concentraciones diluidas. Posteriormente, se realizó la determinación del coeficiente de correlación, utilizando tres ensayos (ensayo 1, ensayo 2 y ensayo 3), en base a las siete muestras de concentraciones diluidas del mismo extracto comercial. Asimismo, se realizaron tres pruebas experimentales (prueba 1, prueba 2 y prueba 3), con la finalidad de determinar absorbancia y transmitancia (%) tanto de las pruebas experimentales del extracto de curcumina como del ensayo patrón seleccionado del extracto comercial.

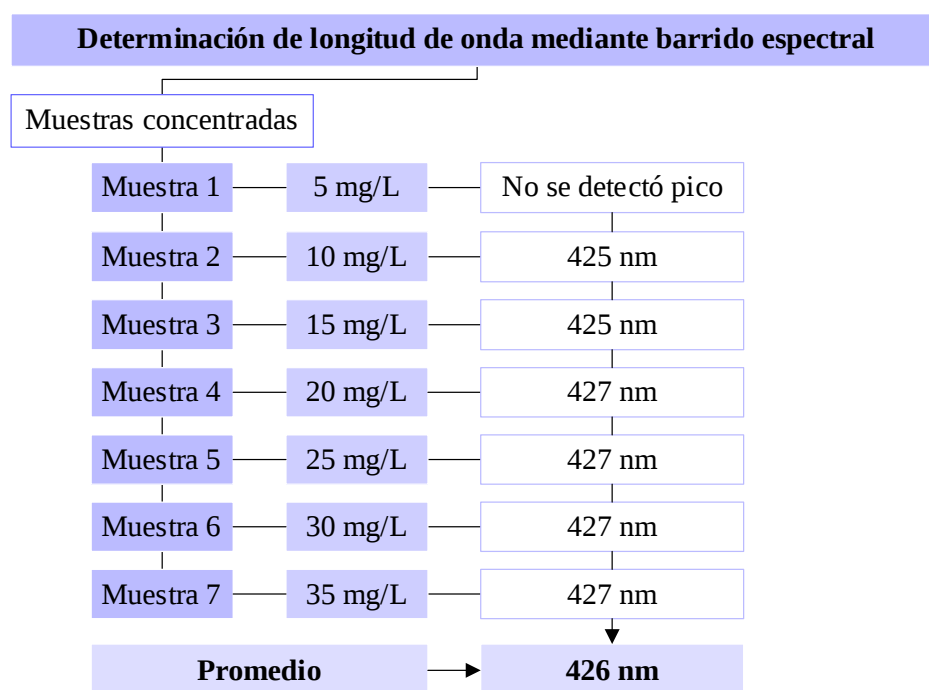


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Metodología del análisis cuantitativo del extracto de curcumina

4.2.2 Determinación de la longitud de onda mediante barrido espectral del extracto comercial de curcumina

Debido a que no se contó con un patrón de referencia a nivel laboratorio para la determinación de la longitud de onda, se prepararon siete muestras de diferentes concentraciones diluidas del extracto comercial de curcumina (Figura 4.3); con la finalidad de determinar la longitud de onda de máxima absorción, que permita establecer el punto de mayor capacidad de absorción. Este valor es fundamental para calibrar el equipo de medición y asegurar que las lecturas espectrofotométricas obtenidas en las pruebas experimentales sean precisas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Determinación de longitud de onda

En la Tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos del barrido espectral realizado del extracto comercial de curcumina en distintas concentraciones (siete muestras). En base a la Figura 4.3 y cuyos datos fueron extraídos del (Anexo H).

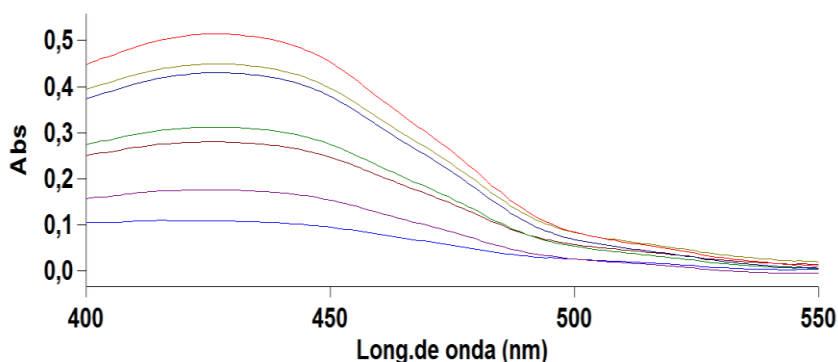
Tabla 4.5

Determinación de longitud de onda

Muestras (concentración)	Unidad	Absorbancia	Unidad	Longitud de onda	Unidad
5	mg/L	0	-	No hay picos	nm
10	mg/L	0,176	-	425	nm
15	mg/L	0,280	-	425	nm
20	mg/L	0,312	-	427	nm
25	mg/L	0,449	-	427	nm
30	mg/L	0,430	-	427	nm
35	mg/L	0,514	-	427	nm
Promedio				426	nm

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.4, se muestra la absorbancia del extracto comercial de curcumina en un rango de longitudes de onda entre (400 - 550) nm. En el cual se observa un aumento del valor de absorbancia entre (425 - 427) nm, que corresponde a la longitud de onda de mayor absorbancia del extracto comercial curcumina.



Fuente: Software Cary WinUV-Vis, 2025

Figura 4.4: Barrido espectral del extracto comercial de curcumina

Donde:

Abs: Absorbancia [-]

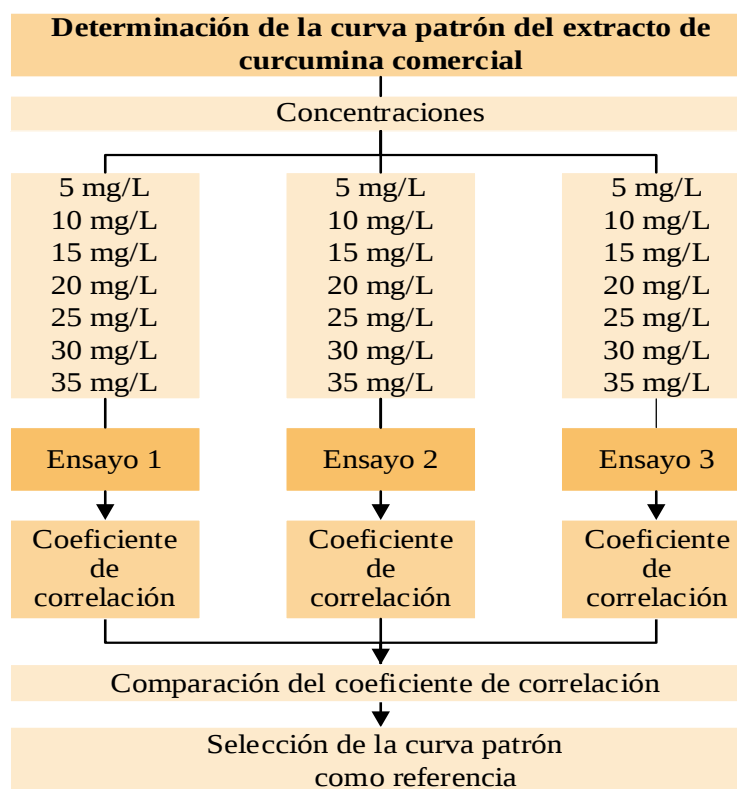
Long. de onda: Longitud de onda [nm]

Según la Figura 4.4, indica que a partir de la concentración 5mg/L no se detectaron picos de absorbancia relevantes. Sin embargo, desde la concentración de 10 mg/L se observaron picos definidos entre (425 – 427) nm, lo que indica una zona estable de

máxima absorción. La longitud de onda seleccionada para el análisis espectrofotométrico del extracto de curcumina se basó en la revisión bibliográfica, que indica un rango de máxima absorción entre (425 - 430) nm. A partir de los datos obtenidos se calculó un promedio de 426 nm, el cual fue establecido como valor de referencia para los análisis posteriores (Tabla 4.5), ya que permite reducir las fluctuaciones y representar mejor el comportamiento espectral de la muestra.

4.2.3. Determinación de curva patrón del extracto de curcumina comercial

Para la determinación de la curva patrón, se prepararon siete muestras de extracto comercial de curcumina en un rango de concentraciones entre (5- 35) mg/L, correspondientes a los ensayos (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3) (Figura 4.5). Estas muestras fueron analizadas mediante espectrofotometría UV-Vis, con el propósito de establecer la relación lineal entre la concentración y la absorbancia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Determinación de la curva patrón del extracto de curcumina comercial

4.2.3.1 Curva patrón del extracto comercial de curcumina para el ensayo 1

En la Tabla 4.6, se muestran los resultados obtenidos de concentración en función de absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 1, en base a las siete muestras de la Figura 4.5 y cuyos datos fueron extraídos del (Anexo I).

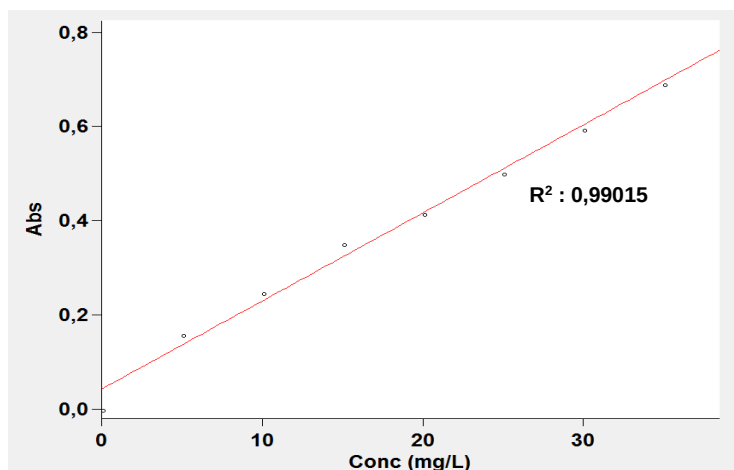
Tabla 4.6

Concentración en función de absorbancia para el ensayo 1

Concentración	Unidad	Absorbancia	Unidad
5	mg/L	0,1588	-
10	mg/L	0,2474	-
15	mg/L	0,3521	-
20	mg/L	0,4162	-
25	mg/L	0,5020	-
30	mg/L	0,5946	-
35	mg/L	0,6912	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.6, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto comercial de curcumina a partir de los datos Tabla 4.6 y extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



Fuente: Software Cary WinUV-Vis, 2025

Figura 4.6: Ajuste de linealidad del ensayo 1

Donde:

Abs: Absorbancia [-]

Conc: Concentración [mg/L]

Según la Figura 4.6, se observa la curva patrón con un coeficiente de correlación $R^2=0,99015$ de linealidad entre la concentración y absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 1.

4.2.3.2 Curva patrón del extracto comercial de curcumina para el ensayo 2

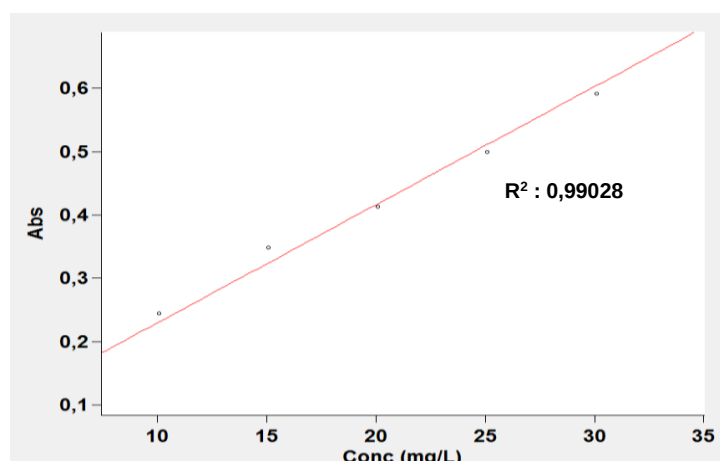
En la Tabla 4.7, se muestran los resultados obtenidos de concentración en función de absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 2, en base a las siete muestras de la Figura 4.5 y cuyos datos fueron extraídos del (Anexo I).

Tabla 4.7

<i>Concentración en función de absorbancia para el ensayo 2</i>			
Concentración	Unidad	Absorbancia	Unidad
5	mg/L	0,1585	-
10	mg/L	0,2463	-
15	mg/L	0,3511	-
20	mg/L	0,4151	-
25	mg/L	0,5019	-
30	mg/L	0,5938	-
35	mg/L	0,6903	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.7, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto comercial de curcumina a partir de los datos Tabla 4.7 y Figura 4.5 extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



Fuente: Software Cary WinUV-Vis, 2025

Figura 4.7: Ajuste de linealidad del ensayo 2

Donde:

Abs: Absorbancia [-]

Conc: Concentración [mg/L]

Según la Figura 4.7, se observa la curva patrón con un coeficiente de correlación $R^2=0,99028$ de linealidad entre la concentración y absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 2.

4.2.3.3 Curva patrón del extracto comercial de curcumina para el ensayo 3

En la Tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos de la concentración en función de absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 3, en base a las siete muestras de la Figura 4.5 y cuyos datos fueron extraídos del (Anexo I).

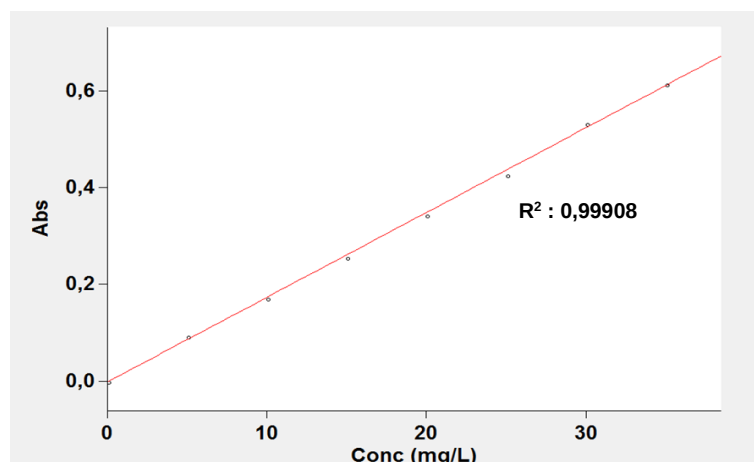
Tabla 4.8

Concentración en función de absorbancia para el ensayo 3

Concentración	Unidad	Absorbancia	Unidad
5	mg/L	0,0930	-
10	mg/L	0,1713	-
15	mg/L	0,2564	-
20	mg/L	0,3438	-
25	mg/L	0,4259	-
30	mg/L	0,5327	-
35	mg/L	0,6141	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.8, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto comercial de curcumina a partir de los datos Tabla 4.7 y Figura 4.5 extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



Fuente: Software Cary WinUV-Vis, 2025

Figura 4.8: Ajuste de linealidad del ensayo 3

Donde:

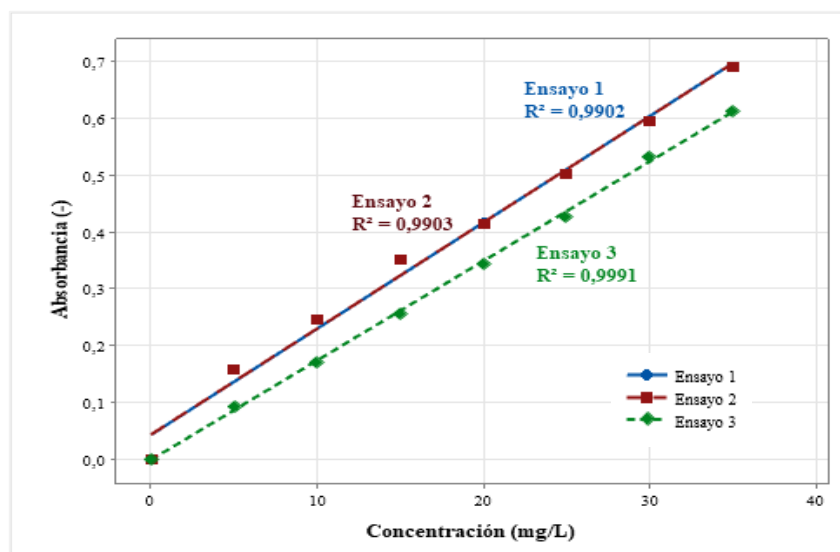
Abs: Absorbancia [-]

Conc: Concentración [mg/L]

Según la Figura 4.8, se observa la curva patrón con un coeficiente de correlación $R^2=0,99908$ de linealidad entre la concentración y absorbancia del extracto comercial de curcumina para el ensayo 3.

4.2.3.4 Selección de la curva patrón del extracto comercial de curcumina

En la Figura 4.9, se muestra la linealidad de absorbancia en función de la concentración de los tres ensayos (ensayo 1, ensayo 2 y ensayo 3) del extracto comercial de curcumina. Cada uno conformado por siete muestras a partir de los datos de Tabla 4.6, Tabla 4.7 y Tabla 4.8 extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.9: Selección de curva patrón del extracto comercial de curcumina

Según la Figura 4.9, se observa la absorbancia en función de la concentración del extracto comercial de curcumina; evidenciando los coeficientes de correlación obtenidos para los tres ensayos fueron de $R^2 = 0,99015$ (ensayo 1), $R^2 = 0,99028$ (ensayo 2) y $R^2 = 0,99908$ (ensayo 3). Dado que el ensayo 3 presentó mayor linealidad entre la concentración y la absorbancia del extracto comercial de curcumina, se lo seleccionó como curva patrón de referencia.

4.2.4 Determinación de los niveles de los parámetros del extracto de curcumina

Para la determinación de los niveles de los parámetros en la extracción de curcumina, se recurrió a la revisión bibliográfica, debido a que no se cuenta con estudios previos específicos sobre el tema. En tal sentido, se consideró lo establecido por Moya (2021), quien señala que la obtención de extractos líquidos es más eficiente al emplear etanol al 95 %, con un tiempo de maceración de 90 minutos y temperaturas de 60, 70 y 80 °C. Por su parte, Aravelo y Sanaguano (2021) mencionan que, para el proceso de extracción del colorante natural de cúrcuma mediante el método Soxhlet, se utilizó etanol al 96 % como solvente, evaluando diferentes tiempos de extracción (60, 90 y 120 minutos). Finalmente, Septiana y Wurytmo (2022) evaluaron distintas

concentraciones de etanol (70, 80 y 90 %) para la obtención del extracto de temulawak (*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*).

De esta manera, se consideraron tres parámetros experimentales: la concentración de etanol (90, 95 y 96) %, el tiempo de maceración (60, 90 y 120) min y temperatura de maceración entre (60, 70 y 80) °C, según se muestra en la Tabla 4.9, los cuales fueron empleados para el desarrollo de los tratamientos preliminares.

Tabla 4.9

<i>Parámetros experimentales para el extracto de curcumina</i>				
Parámetros	Niveles			Unidad
Concentración de alcohol	90	95	96	%
Tiempo de maceración	60	90	120	min
Temperatura de maceración	60	70	80	°C

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos preliminares se definieron en función de los tres parámetros principales: concentración del alcohol etílico (90, 95 y 96) %, tiempo de maceración (60, 90 y 120) min y temperatura de maceración (60, 70 y 80) °C sobre los cuales se establecieron distintas variaciones entre cada parámetro. El propósito de estas variaciones fue analizar cómo cada parámetro influye de manera directa en el rendimiento del extracto de curcumina, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10

Tratamientos preliminares del extracto de curcumina

Muestras	Concentración alcohol etílico (%)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1	90	60	60	0,1488
2	90	60	70	0,3313
3	90	60	80	0,3250
4	90	90	60	0,1688
5	90	90	70	0,8188
6	90	90	80	0,7938
7	90	120	60	0,3781
8	90	120	70	0,6531
9	90	120	80	0,7938
10	95	60	60	0,2225
11	95	60	70	0,5594
12	95	60	80	0,2363
13	95	90	60	0,4969
14	95	90	70	0,6906
15	95	90	80	0,7344
16	95	120	60	0,5156
17	95	120	70	0,8188
18	95	120	80	0,7656
19	96	60	60	0,2388
20	96	60	70	0,2088
21	96	60	80	0,2850
22	96	90	60	0,2175
23	96	90	70	0,6188
24	96	90	80	0,5156
25	96	120	60	0,4156
26	96	120	70	0,3088
27	96	120	80	0,2975

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.1 Evaluación de la temperatura de maceración del extracto de curcumina

En la Tabla 4.11, se muestran el valor promedio del rendimiento del extracto de curcumina obtenido a diferentes temperaturas (60, 70 y 80) °C, en base a los

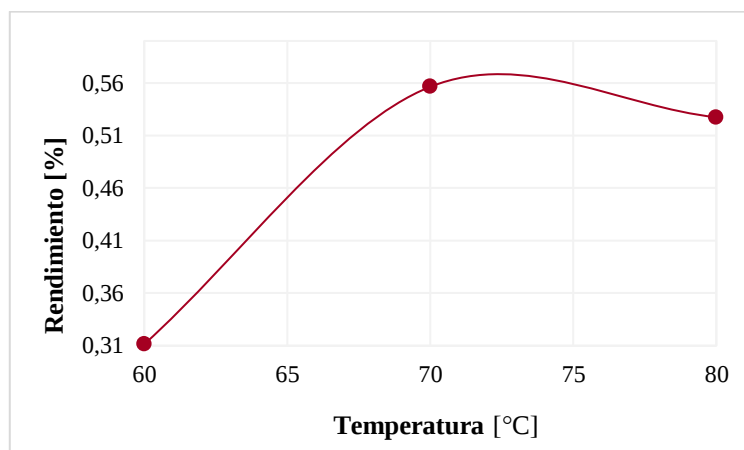
tratamientos preliminares. Estos resultados permitieron comparar la influencia de la temperatura en el rendimiento del extracto de curcumina.

Tabla 4.11

<i>Rendimiento promedio en función de la temperatura</i>		
Muestras	Temperatura (°C)	Rendimiento promedio (%)
1	60	0,3114
2	70	0,5564
3	80	0,5274

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.10, se observan los valores promedio del rendimiento en función de la temperatura del extracto de curcumina a partir de los datos Tabla 4.11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Rendimiento en función de la temperatura del extracto de curcumina

Según la Figura 4.10 se evidencia la influencia de la temperatura en el rendimiento promedio del extracto de curcumina, ya que a temperatura de 60 °C se obtiene un rendimiento del 0,3114 %; mientras que 70 °C el valor se incrementa hasta 0,5664 % y a los 80 °C entre el 0,5274 %. En función del rendimiento promedio, se definieron como niveles de estudio de temperatura de maceración entre (70-80) °C para el extracto de curcumina.

4.2.4.2 Evaluación del tiempo de maceración del extracto de curcumina

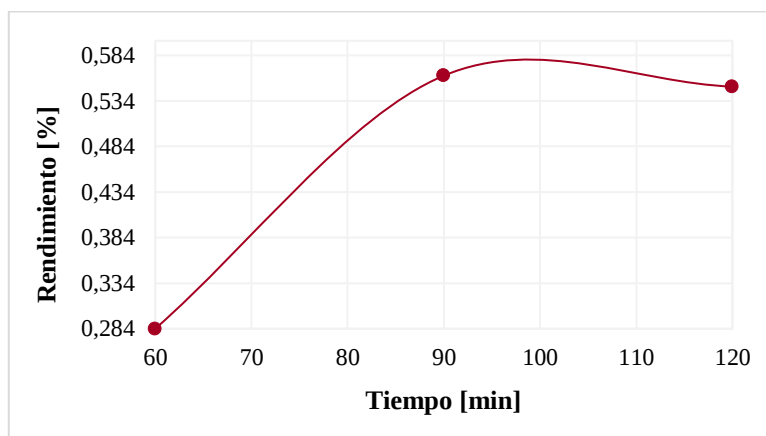
En la Tabla 4.12, se muestran el valor promedio del rendimiento obtenido a diferentes tiempos (60, 90 y 120) min, en base a los tratamientos preliminares. Estos resultados permitieron comparar la influencia del tiempo en el rendimiento del extracto de curcumina.

Tabla 4.12

<i>Rendimiento promedio en función del tiempo</i>		
Muestras	Tiempo (min)	Rendimiento promedio (%)
1	60	0,2840
2	90	0,5617
3	120	0,5497

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.11, se observan el valor promedio del rendimiento en función del tiempo de extracto de curcumina a partir de los datos Tabla 4.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Rendimiento en función del tiempo

Según la Figura 4.11 se evidencia la influencia del tiempo en el rendimiento promedio del extracto de curcumina, a 60 minutos el rendimiento fue del 0,2840 %, mientras que a 90 minutos el valor se incrementa hasta el 0,5617 %, y 120 minutos alcanzó el valor

de 0,5497 %. En función de estos resultados, se definieron como niveles de estudio de tiempo de maceración entre (90-120) min para el extracto de curcumina.

4.2.4.3 Evaluación de la concentración alcohol etílico de maceración del extracto de curcumina

En la Tabla 4.13, se muestran el valor promedio del rendimiento obtenido a diferentes concentraciones del alcohol etílico (90, 95 y 96) %, en base a los tratamientos preliminares. Estos resultados permitieron comparar la influencia de la concentración del alcohol etílico en el rendimiento del extracto de curcumina.

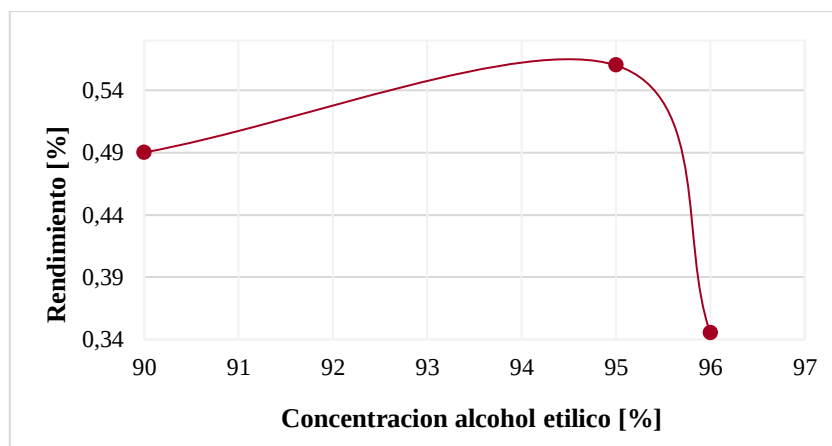
Tabla 4.13

Rendimiento promedio en función de la concentración del alcohol etílico

Muestras	Concentración del alcohol etílico (%)	Rendimiento promedio (%)
1	90	0,4901
2	95	0,5600
3	96	0,3451

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12, se observan el valor promedio del rendimiento en función de la concentración del alcohol etílico del extracto de curcumina a partir de la Tabla 4.13.

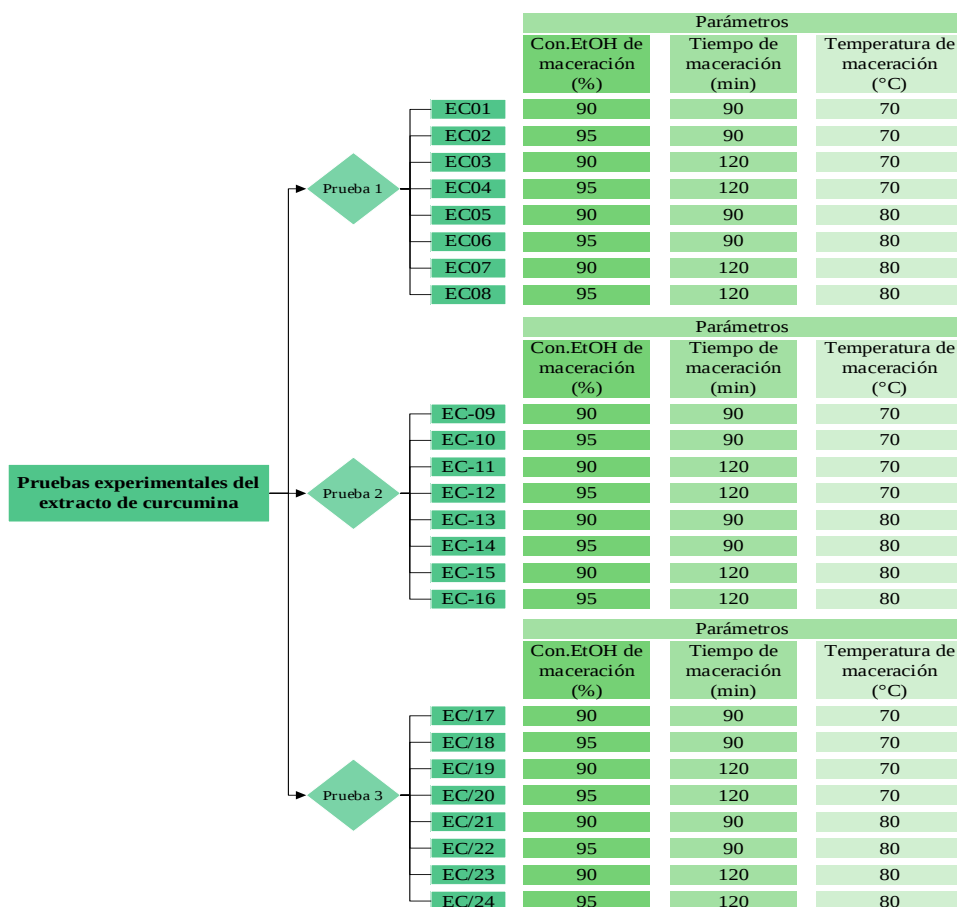


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Rendimiento en función de la concentración del alcohol etílico del extracto de curcumina

Según la Figura 4.12 se evidencia la influencia de la concentración del alcohol etílico en el rendimiento promedio del extracto de curcumina, a concentración del 90 % se obtiene un valor de rendimiento del 0,4901 %; mientras que al 95 % se incrementa hasta el 0,5600 %, y al 96 % disminuye el valor al 0,3451 %. En función de estos resultados, se definieron como niveles de estudio de concentración del alcohol etílico entre (90-95) %, para el extracto de curcumina.

En la Figura 4.13 se muestran los tres tratamientos experimentales (prueba 1, prueba 2 y prueba 3) del extracto de curcumina, conformados por ocho muestras. Definido a partir de los niveles de parámetros establecidos (Tabla 4.9), en el cual se observan concentraciones de etanol entre (90-95) %, tiempos de maceración comprendidos entre (90-120) min, y temperaturas en el rango de (70-80) °C.

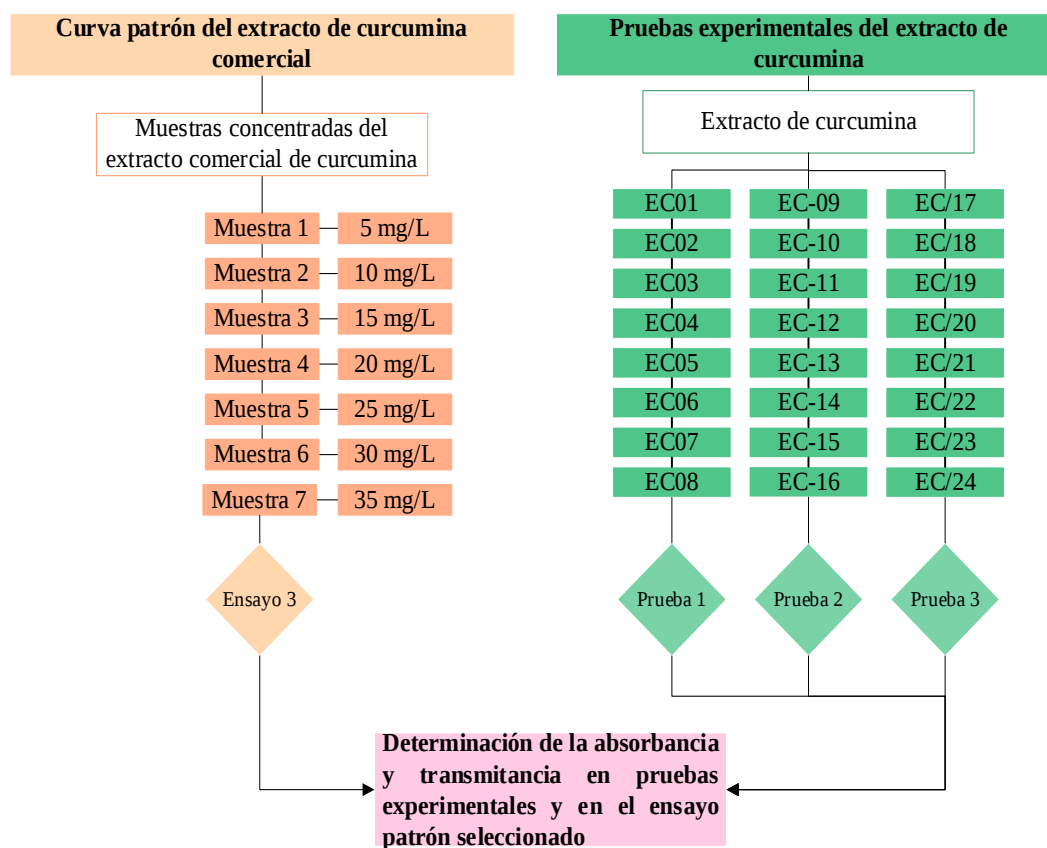


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Tratamiento de pruebas preliminares

4.2.5 Análisis de comparación del extracto de curcumina y curva patrón

Para la determinación de absorbancia y transmitancia de las pruebas experimentales del extracto de curcumina se realizaron tres pruebas (prueba 1, prueba 2 y prueba 3). Cada una de ellas estuvo conformada por ocho muestras codificadas de la siguiente manera: prueba 1 (EC01, EC02, EC03, EC04, EC05, EC06, EC07 y EC08), prueba 2 (EC-09, EC-10, EC-11, EC-12, EC-13, EC-14, EC-15 y EC-16) y prueba 3 (EC/17, EC/18, EC/19, EC/20, EC/21, EC/22, EC/23 y EC/24). Asimismo, para el ensayo patrón del extracto comercial de curcumina, se prepararon siete muestras en un rango de concentración entre (5-35) mg/L (Figura 4.14). Todas las muestras fueron analizadas en espectrofotometría UV-Vis.

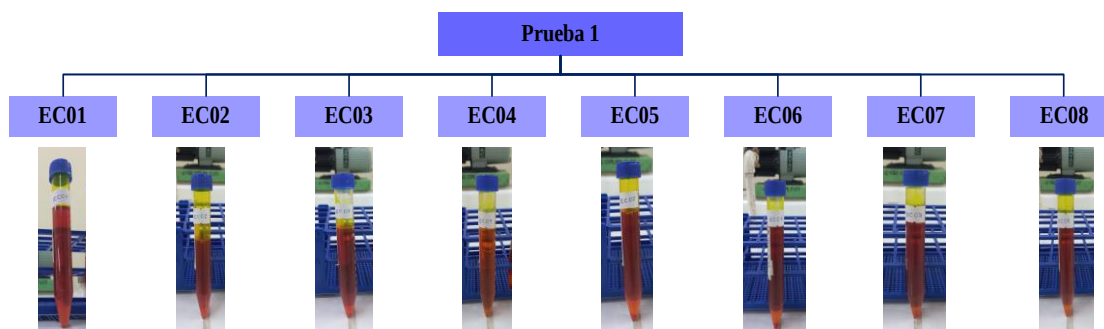


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Evaluación del extracto experimental en función de la curva patrón

4.2.5.1 Determinación de absorbancia del extracto de curcumina para prueba 1

En la Figura 4.15, se muestran las ocho muestras codificadas (EC01, EC02, EC03, EC04, EC05, EC06, EC07 y EC08) para determinar absorbancia del extracto de curcumina para la prueba 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Muestras del extracto de curcumina para la prueba 1

En la Figura 4.16, se muestran las diluciones realizadas en las ocho muestras (EC01, EC02, EC03, EC04, EC05, EC06, EC07 y EC08) del extracto de curcumina para la prueba 1.

Prueba 1							
EC01	EC02	EC03	EC04	EC05	EC06	EC07	EC08
Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones
1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
4/10	4/10	5/10	4/10				

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Diluciones del extracto de curcumina para la prueba 1

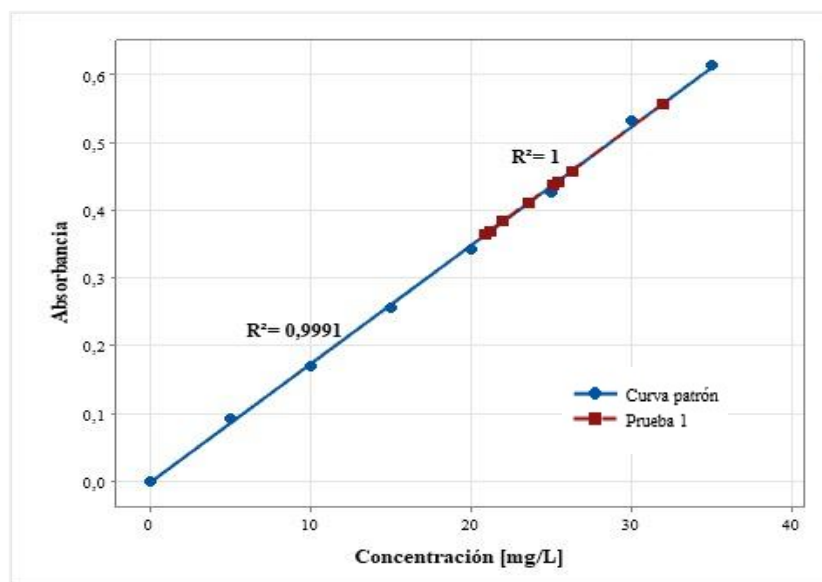
En la Tabla 4.14, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración para la prueba 1 y curva patrón de datos extraídos de la Tabla 4.8 y del Anexo J.1.

Tabla 4.14

<i>Concentración en función de absorbancia curva patrón y prueba 1</i>			
Curva patrón		Prueba 1	
Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)	Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)
0	-0,0001	21,2	0,3702
5	0,0930	23,6	0,4117
10	0,1713	20,9	0,3648
15	0,2564	22	0,3840
20	0,3438	25,4	0,4426
25	0,4259	32	0,5579
30	0,5327	26,3	0,4580
35	0,6141	25,1	0,4377

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.17, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto de curcumina para la prueba 1, con la finalidad de comparar los resultados con la curva patrón del extracto comercial de curcumina a partir de los datos de la Tabla 4.14 y extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



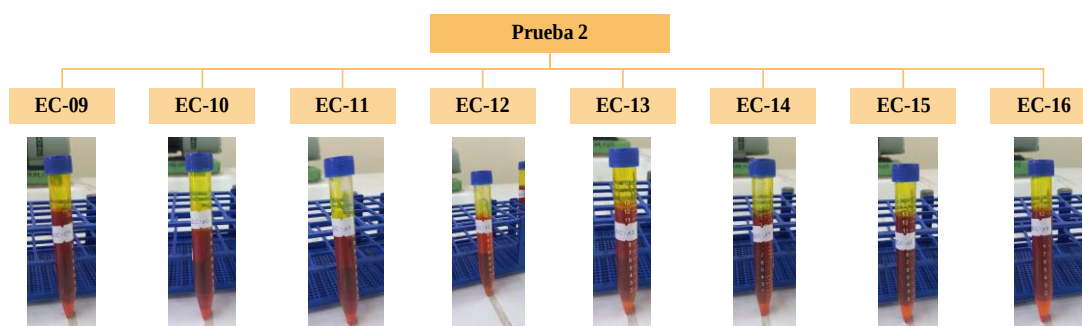
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Comparación de extracto comercial y prueba 1

Según la Figura 4.17, se observa la comparación de los resultados experimentales del ajuste de linealidad de la curva patrón de extracto comercial y prueba 1; utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 19. Obteniéndose un coeficiente de correlación de ($R^2= 0,9991$) para la curva patrón y ($R^2= 1$) para la prueba 1, lo que confirma que el modelo para la curva patrón se ajusta a los resultados experimentales de la prueba 1 en base a los datos de laboratorio.

4.2.5.2 Determinación de absorbancia del extracto de curcumina para prueba 2

En la Figura 4.18, se muestran las ocho muestras codificadas (EC-09, EC-10, EC-11, EC-12, EC-13, EC-14, EC-15 y EC-16) para determinar absorbancia del extracto de curcumina para la prueba 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Muestras del extracto de curcumina para la prueba 2

En la Figura 4.19, se muestran las diluciones realizadas en las ocho muestras (EC-09, EC-10, EC-11, EC-12, EC-13, EC-14, EC-15 y EC-16) del extracto de curcumina para la prueba 2.

Prueba 2							
EC-09	EC-10	EC-11	EC-12	EC-13	EC-14	EC-15	EC-16
Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones
1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
4/10	4/10	4/10	4/10	4/10			

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Diluciones del extracto de curcumina para la prueba 2

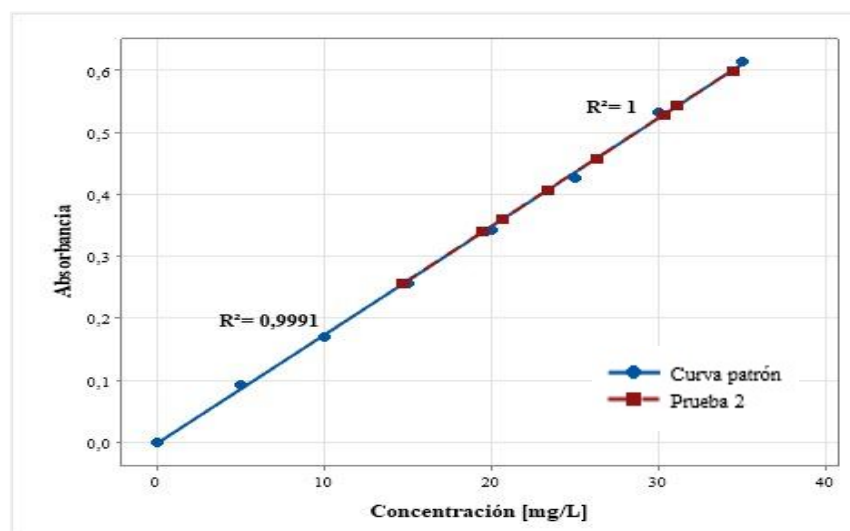
En la Tabla 4.15, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración para la prueba 2 y curva patrón de datos extraídos de la Tabla 4.8 y del Anexo J.2.

Tabla 4.15

<i>Concentración en función de absorbancia curva patrón y prueba 2</i>			
Curva patrón		Prueba 2	
Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)	Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)
0	-0,0001	30,3	0,5291
5	0,0930	26,3	0,4579
10	0,1713	19,5	0,3400
15	0,2564	23,4	0,4074
20	0,3438	20,7	0,3599
25	0,4259	34,4	0,5995
30	0,5327	31,1	0,5431
35	0,6141	14,7	0,2559

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.20, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto de curcumina para la prueba 2, con la finalidad de comparar los resultados con la curva patrón del extracto comercial de curcumina a partir de los datos de la Tabla 4.15 y extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



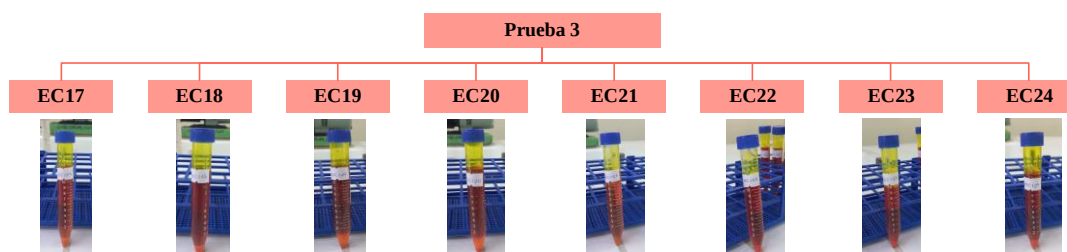
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Comparación de extracto comercial y prueba 2

Según la Figura 4.20, se observa la comparación de los resultados experimentales del ajuste de linealidad de la curva patrón de extracto comercial y prueba 2; utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 19. Obteniéndose un coeficiente de correlación de ($R^2= 0,9991$) 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 curcumina para prueba 3

En la Figura 4.21, se muestran las ocho muestras codificadas (EC/17, EC/18, EC/19, EC/20, EC/21, EC/22, EC/23 y EC/24) para determinar absorbancia del extracto de curcumina para la prueba 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Muestras del extracto de curcumina para la prueba 3

En la Figura 4.22, se muestran las diluciones realizadas en las ocho muestras (EC/17, EC/18, EC/19, EC/20, EC/21, EC/22, EC/23 y EC/24) del extracto de curcumina para la prueba 3.

Prueba 3							
EC/17	EC/18	EC/19	EC/20	EC/21	EC/22	EC/23	EC/24
Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones	Diluciones
1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Diluciones del extracto de curcumina para la prueba 3

En la Tabla 4.16, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración para la prueba 3 y curva patrón de datos extraídos de la Tabla 4.8 y del Anexo J.3.

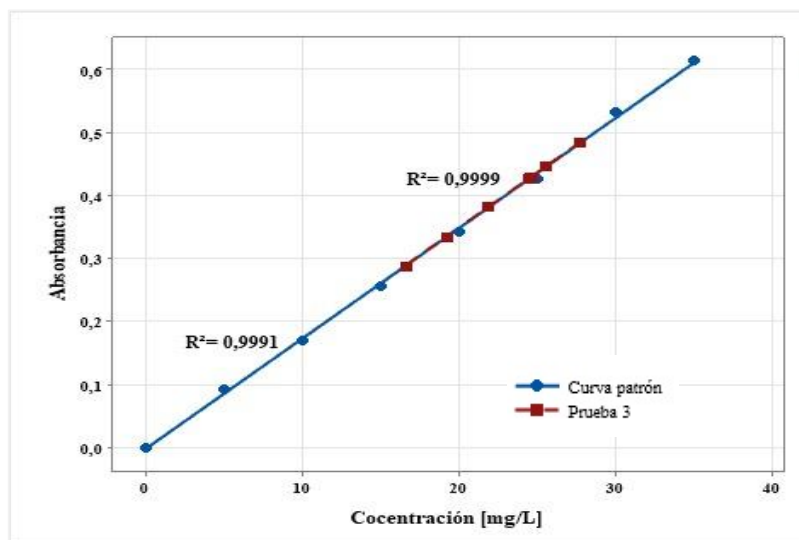
Tabla 4.16

Concentración en función de absorbancia para curva patrón y prueba 3

Ensayo patrón		Prueba 3	
Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)	Concentración (mg/L)	Absorbancia (-)
0	-0,0001	24,7	0,4299
5	0,0930	19,2	0,3348
10	0,1713	25,6	0,4462
15	0,2564	24,6	0,4288
20	0,3438	27,7	0,4839
25	0,4259	24,5	0,4276
30	0,5327	16,6	0,2885
35	0,6141	21,9	0,3824

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.23, se muestran los resultados de absorbancia en función de la concentración del extracto de curcumina para la prueba 3, con la finalidad de comparar los resultados con la curva patrón del extracto comercial de curcumina a partir de los datos de la Tabla 4.16 y extraídos del Software Cary WinUV-Vis.



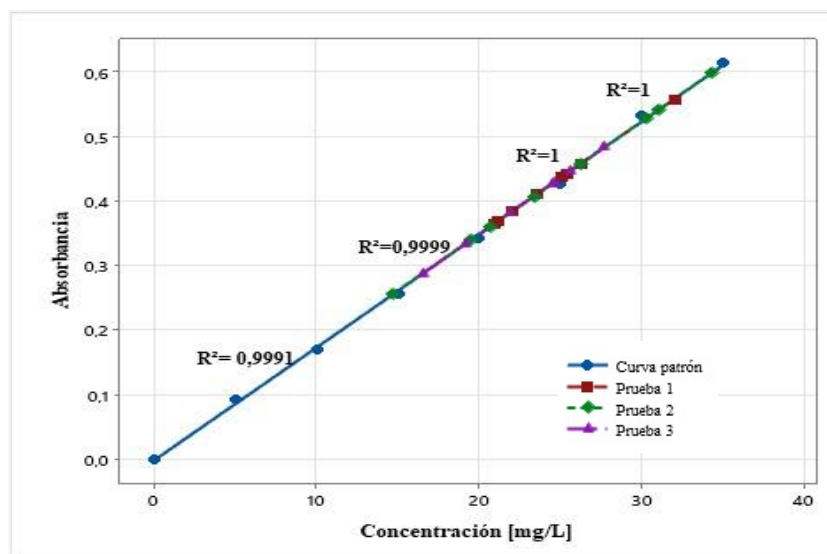
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Comparación de extracto comercial y prueba 3

Según la Figura 4.23, se observa la comparación de los resultados experimentales del ajuste de linealidad de la curva patrón de extracto comercial y prueba 3; utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 19. Obteniéndose un coeficiente de correlación de ($R^2= 0,9991$) para la curva patrón y ($R^2= 0,9999$) para la prueba 3, 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 curcumina

En la Figura 4.24, se muestran los resultados experimentales de linealidad de absorbancia en función de la concentración de las tres pruebas (prueba 1, prueba 2 y prueba 3) del extracto de curcumina. Con la finalidad de comparar los resultados experimentales con la curva patrón del extracto comercial de curcumina a partir de los datos de Tabla 4.14, Tabla 4.15 y Tabla 4.16; que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Comparación de curva patrón y pruebas experimentales

Según la Figura 4.24, se puede observar para la prueba 1 y prueba 2 el coeficiente de correlación de ($R^2=1$) y para la prueba 3 un valor de ($R^2=0,9999$) del extracto de curcumina comparado con la curva patrón ($R^2=0,9991$); los mejores resultados

experimentales del ajuste lineal corresponden a la prueba 1 y prueba 2 en relación con la curva patrón.

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

Para determinar rendimiento del extracto de curcumina se utilizaron los valores de absorbancia del extracto de curcumina de las tres pruebas experimentales a partir de las Tablas 4.14 (prueba 1), Tabla 4.15 (prueba 2) y Tabla 4.16 (prueba 3). Asimismo, para determinar la curva patrón del extracto comercial de curcumina; se utilizó la ecuación 4.1 modificada de la ecuación 2.2; con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de curcumina a partir de los rizomas de cúrcuma.

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

Donde:

%T: Transmitancia

Abs: Absorbancia

4.2.6.1 Determinación de rendimiento del extracto comercial de curcumina para curva patrón

En la Tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos de transmitancia en función de la concentración del extracto comercial de curcumina, en base a las siete muestras de la Figura 4.5 y cuyos datos fueron extraídos de la Tabla K.1 (Anexo K).

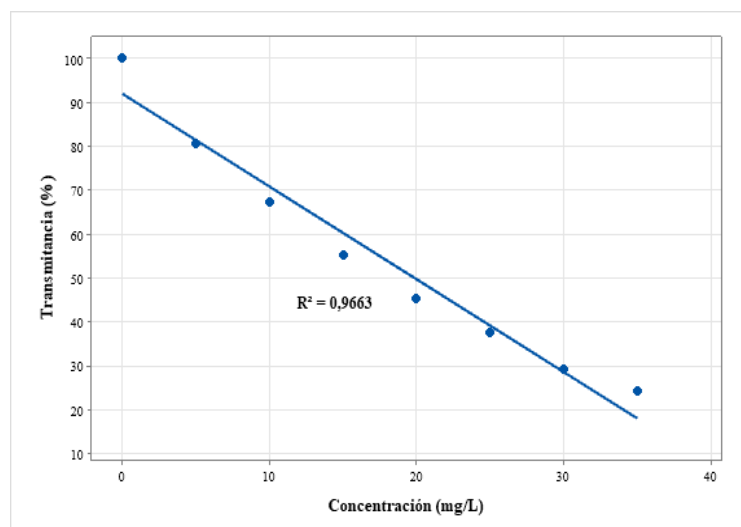
Tabla 4.17

Transmitancia en función de la concentración de curva patrón

Curva patrón (concentración)	Unidad	Transmitancia	Unidad
5	mg/L	100,02	%
10	mg/L	80,72	%
15	mg/L	67,41	%
20	mg/L	55,41	%
25	mg/L	45,31	%
30	mg/L	37,51	%
35	mg/L	29,33	%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.25 se muestran los resultados de transmitancia en función de la concentración para la curva patrón del extracto comercial de curcumina utilizando el Software Estadístico Minitap Versión 19, con el propósito de compararlos con las tres pruebas experimentales (prueba 1, prueba 2 y prueba 3), cuyos datos fueron extraídos (Anexo K).



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.25: Curva patrón para el extracto de curcumina comercial

Según la Figura 4.25, la curva patrón presentó un coeficiente de determinación ($R^2=0,9663$), lo que evidencia un alto grado de correlación lineal entre la transmitancia y concentración del extracto comercial de curcumina.

4.2.6.2 Determinación del rendimiento del extracto de curcumina para prueba 1

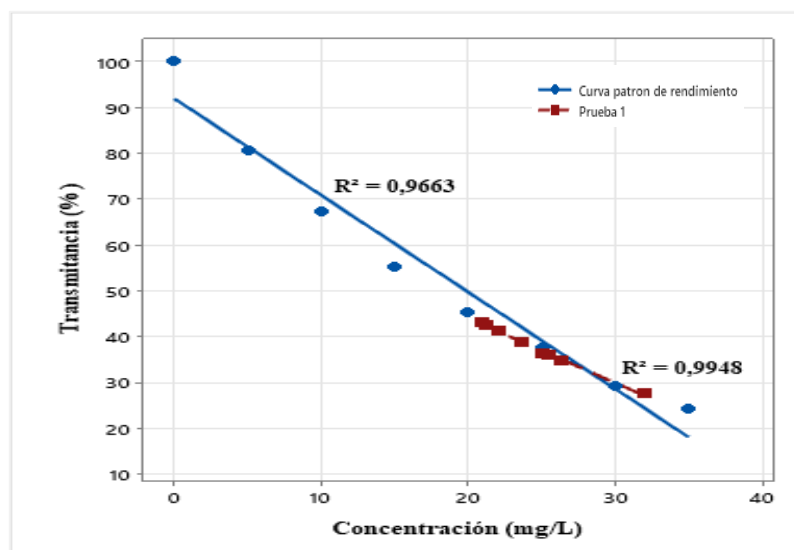
En la Tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos de transmitancia en función de la concentración para la prueba 1 y curva patrón (Anexo K.2).

Tabla 4.18

<i>Concentración en función de transmitancia para prueba 1</i>			
Curva patrón		Prueba 1	
Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)	Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)
0,00	100,02	21,2	42,64
5,00	80,72	23,6	38,75
10,00	67,41	20,9	43,17
15,00	55,41	22	41,30
20,00	45,31	25,4	36,09
25,00	37,51	32	27,68
30,00	29,33	26,3	34,83
35,00	24,32	25,1	36,50

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.26, se muestran los resultados de transmitancia (%) en función de la concentración para curva patrón y prueba 1, en base al cálculo para ambas pruebas que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 19, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de curcumina a partir de los datos extraídos de la Tabla 4.18.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.26: Determinación de rendimiento del extracto de curcumina prueba 1

Según la Figura 4.26, se puede observar que para la curva patrón de rendimiento se obtuvo un valor del coeficiente de correlación ($R^2=0,9663$) y para la prueba 1 ($R^2=0,9948$) evidenciando un ajuste lineal más preciso. Asimismo, se observa que la transmitancia disminuye a medida que aumenta la concentración del extracto de curcumina en la prueba 1, lo cual concuerda con la Ley de Lambert-Beer, que establece que a mayor concentración se produce una mayor absorción de luz y, en consecuencia, una menor transmitancia. Esto demuestra que la disminución de la transmitancia está directamente asociada con un aumento en el rendimiento del extracto de curcumina.

4.2.6.3 Determinación del rendimiento del extracto de curcumina para prueba 2

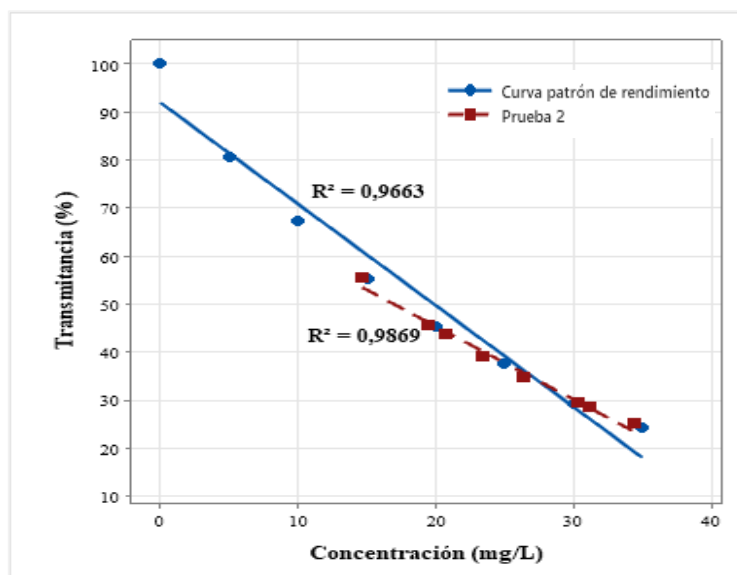
En la Tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos de transmitancia en función de la concentración para la prueba 2 y curva patrón (Anexo K.3).

Tabla 4.19

<i>Concentración en función de transmitancia para prueba 2</i>			
Curva patrón		Prueba 2	
Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)	Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)
0	100,02	30,3	29,57
5	80,72	26,3	34,84
10	67,41	19,5	45,71
15	55,41	23,4	39,14
20	45,31	20,7	43,66
25	37,51	34,4	25,15
30	29,33	31,1	28,64
35	24,32	14,7	55,48

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.27, se muestran los resultados de transmitancia (%) en función de la concentración para curva patrón y prueba 2 cálculo para ambas pruebas que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 19, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de curcumina a partir de los datos extraídos de la Tabla 4.19.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.27: Determinación de rendimiento del extracto de curcumina prueba 2

Según la Figura 4.27, se puede observar que para la curva patrón se obtuvo un valor del coeficiente de correlación ($R^2=0,9663$) y para la prueba 2 ($R^2=0,9869$) evidenciando un ajuste aún más preciso. Asimismo, se observa que la transmitancia disminuye a medida que aumenta la concentración del extracto de curcumina en la prueba 2, lo cual concuerda con la Ley de Beer-Lambert, que establece que a mayor concentración se produce una mayor absorción de luz y, en consecuencia, una menor transmitancia. Esto demuestra que la disminución de la transmitancia está directamente asociada con un aumento en el rendimiento del extracto de curcumina.

4.2.6.4 Determinación del rendimiento del extracto de curcumina para prueba 3

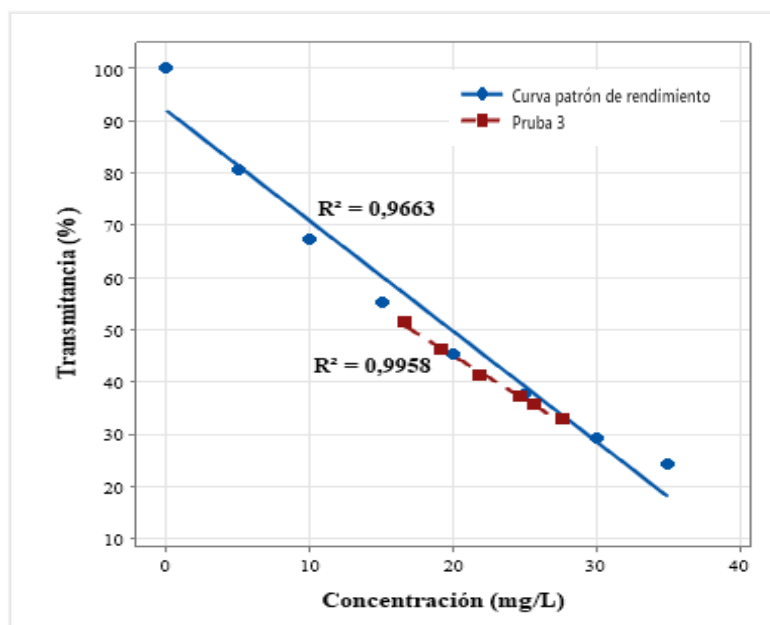
En la Tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos de transmitancia en función de la concentración para la prueba 3 y curva patrón (Anexo K.4).

Tabla 4.20

<i>Concentración en función de transmitancia para prueba 3</i>			
Curva patrón		Prueba 3	
Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)	Concentración (mg/L)	Transmitancia (%)
0	100,02	24,7	37,16
5	80,72	19,2	46,26
10	67,41	25,6	35,79
15	55,41	24,6	37,26
20	45,31	27,7	32,82
25	37,51	24,5	37,36
30	29,33	16,6	51,46
35	24,32	21,9	41,46

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.28, se muestran los resultados de transmitancia (%) en función de la concentración para curva patrón y prueba 3 cálculo para ambas pruebas que fueron introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 19, con la finalidad de determinar el rendimiento del extracto de curcumina a partir de los datos extraídos de la Tabla 4.20.



Fuente: Elaboración propia, 2025

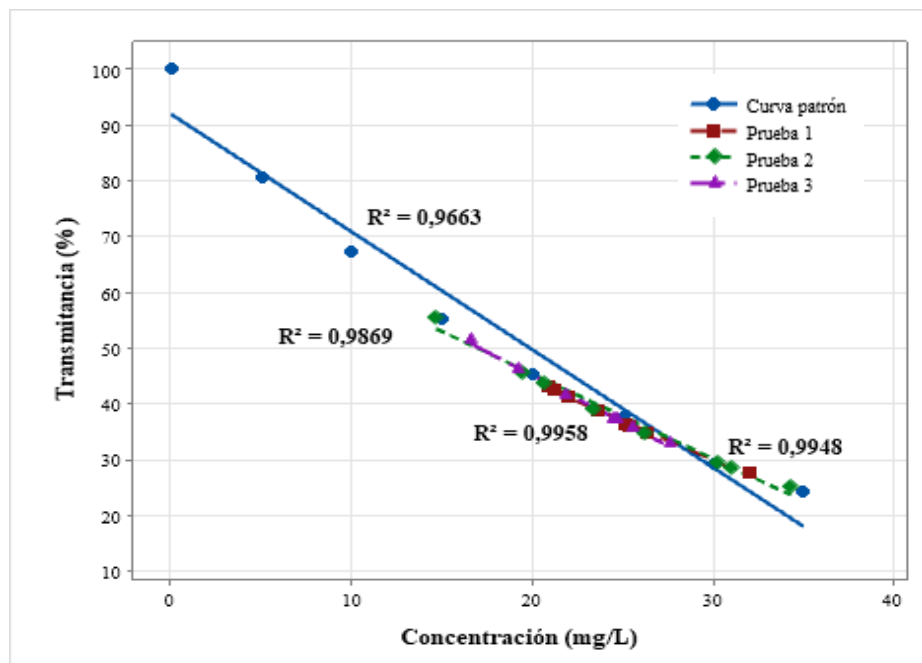
Figura 4.28: Determinación de rendimiento del extracto de curcumina prueba 3

Según la Figura 4.28, se puede observar que para la curva patrón se obtuvo un valor del coeficiente de correlación ($R^2=0,9663$) y para la prueba 3 ($R^2=0,9958$) evidenciando un ajuste aún más preciso. Asimismo, se observa que la transmitancia disminuye a medida que aumenta la concentración del extracto de curcumina en la prueba 3, lo cual concuerda con la Ley de Beer-Lambert, que establece que a mayor concentración se produce una mayor absorción de luz y, en consecuencia, una menor transmitancia. Esto demuestra que la disminución de la transmitancia está directamente asociada con un aumento en el rendimiento del extracto de curcumina.

4.2.6.5 Comparación de rendimiento para curva patrón y pruebas experimentales del extracto de curcumina

En la Figura 4.29, se muestran los resultados experimentales de linealidad de transmitancia en función de la concentración de las tres pruebas (prueba 1, prueba 2 y prueba 3) del extracto de curcumina. Estos datos permiten comparar el rendimiento obtenido en cada prueba y, a su vez, evaluar el coeficiente de correlación con la curva

patrón del extracto comercial de curcumina a partir de las Tabla 4.9, Tabla 4.10 y Tabla 4.11; introducidos en el Software Estadístico Minitap Versión 19.



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4.29: Comparación del rendimiento del extracto de curcumina

Según la Figura 4.29, se puede observar que para la prueba 1, se obtuvo un valor del coeficiente de correlación ($R^2 = 0,9948$), prueba 2 ($R^2 = 0,9869$) y para la prueba 3 ($R^2 = 0,9958$) del extracto de curcumina comparado con la curva patrón ($R^2 = 0,9663$); los mejores resultados experimentales del ajuste lineal corresponden a las prueba 1 y prueba 3 en relación con la curva patrón. No obstante, la prueba 3 destaca por evidenciar una mayor concentración de extracto de curcumina, lo que representa un rendimiento superior en relación con la prueba 1 y prueba 2. Por tanto, se sustenta en la Ley de Lambert-Beer, que establece la relación inversa entre transmitancia y concentración, de modo que valores reducidos de transmitancia corresponden a un incremento en la concentración del extracto. En consecuencia, una menor transmitancia no solo confirma una mayor absorción de luz por parte de la muestra, sino que también constituye un indicador directo de un mayor rendimiento del extracto de curcumina.

4.3. Diseño factorial 2³ del extracto de curcumina

Para el desarrollo del diseño factorial en el extracto de curcumina se aplicó el diseño factorial 2³, en base a la (Tabla 4.9), considerando como variables la concentración del alcohol etílico, la temperatura y el tiempo de maceración:

Concentración del alcohol etílico (90-95) %

Tiempo de maceración entre (90-120) minutos

Temperatura de maceración (70-80) °C

Tomando en cuenta rendimiento expresado en porcentaje (%) y los resultados se muestran en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21

<i>Rendimiento de las muestras del extracto de curcumina</i>							
Combinación	Concentración del alcohol etílico (%) A	Tiempo (min) B	Temperatura (°C) C	Réplica I	Replica II	Replica III	Total (Yi)
(-1)	90	90	70	0,6625	0,9469	0,7719	2,3813
a	95	90	70	0,7375	0,8219	0,6000	2,1594
b	90	120	70	0,5225	0,6094	0,8000	1,9319
c	95	120	70	0,6875	0,7313	0,7688	2,1875
ab	90	90	80	0,3175	0,6469	0,8656	1,8300
ac	95	90	80	0,4000	0,4300	0,7656	1,5956
bc	90	120	80	0,3288	0,3888	0,5188	1,2363
abc	95	120	80	0,3138	0,1838	0,6844	1,1819

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1 Análisis de varianza del diseño factorial para las muestras del extracto de curcumina

En la Tabla 4.22, se observan los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2³ aplicado en las muestras del extracto de curcumina en función del rendimiento (%). Los cuales fueron introducidos en el programa estadístico

Statgraphics (Centurion XVI) por Windows y los resultados son detallados en el (Anexo L).

Tabla 4.22

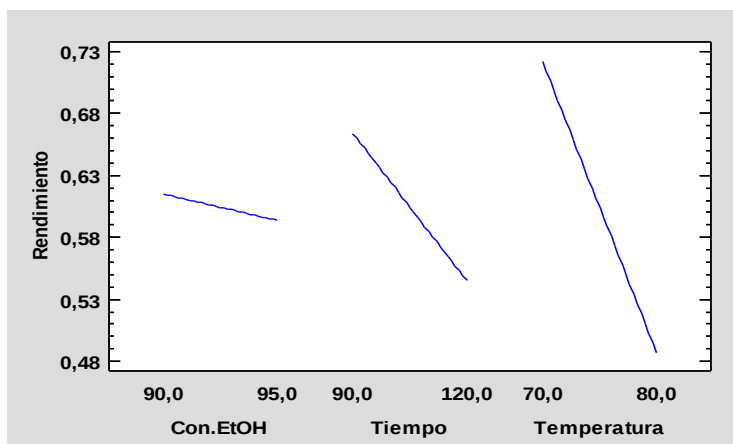
Análisis de varianza en función del rendimiento

Fuente de varianza	Suma de cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,002709	1	0,002709	0,09	0,771
Factor B	0,085013	1	0,085013	2,73	0,118
Factor C	0,330458	1	0,330458	10,61	0,004
Interacción AB	0,018018	1	0,018018	0,58	0,458
Interacción AC	0,004336	1	0,004336	0,14	0,713
Interacción BC	0,014308	1	0,014308	0,46	0,507
Interacción ABC	0,003690	1	0,003690	0,12	0,735
Error total	0,498317	16	0,031144	-	-
Total	0,956850	23	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la Tabla 4.22, se observa que el factor A e interacciones (AC, BC y ABC) no son estadísticamente significativas debido que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, en los factores B y C e interacción AB si existe diferencia significativa en el proceso de extracción; ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por 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 (Con.EtOH), B (Tiempo de maceración) y C (Temperatura de maceración) en relación del rendimiento (%).

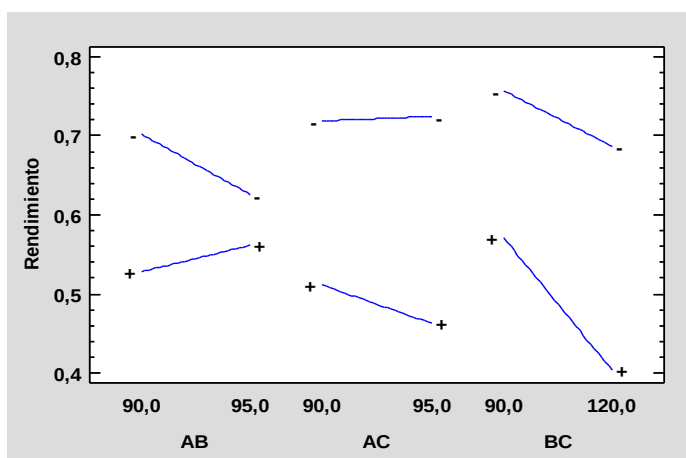


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Efectos principales para el rendimiento del extracto de curcumina

En la Figura 4.30, se observa que el factor C (temperatura), en sus niveles inferior y superior (70–80) °C, presenta una influencia significativa sobre el rendimiento. Por el contrario, los factores A (Con.EtOH), en el rango de (90–95) %, y B (tiempo), entre (90–120) min, no muestran una influencia significativa, ya que el rendimiento presenta una variación mínima entre sus niveles evaluados.

En la Figura 4.31, se muestra las interacciones para los factores AB (Con.EtOH-tiempo), AC (Con.EtOH-temperatura) y BC (Tiempo-temperatura), en función del rendimiento en porcentaje (%).

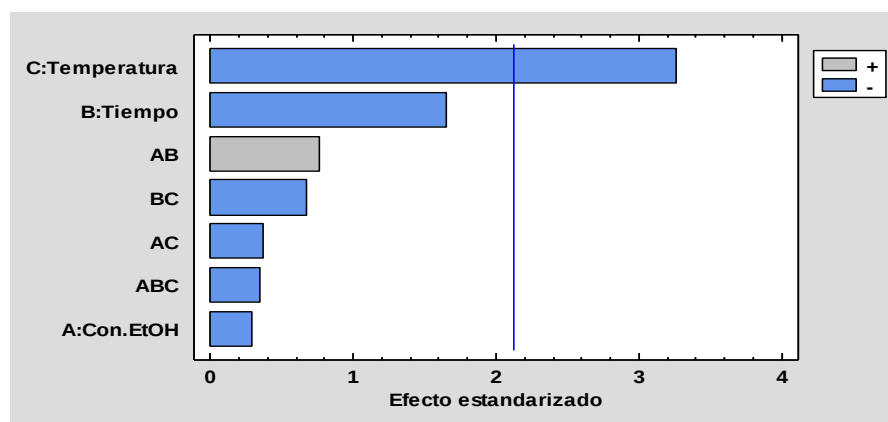


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Interacción de los factores para el rendimiento del extracto de curcumina

Según la Figura 4.31, se observa que las interacciones AB, AC y BC influyen significativamente en el rendimiento. En la interacción AB (Con.EtOH-tiempo), cuando ambas variables A y B se encuentran en su nivel bajo el rendimiento aumenta, por el contrario, cuando A y B están en su nivel alto disminuye el rendimiento. En cuanto a la interacción AC (Con.EtOH-temperatura), se observa que la variable A se encuentra en su nivel bajo y C en su nivel alto, el rendimiento disminuye; sin embargo, si la variable A se encuentra en su alto y C en su nivel bajo el rendimiento aumenta considerablemente. Para la interacción BC (tiempo-temperatura de maceración), si la variable B se encuentra en su nivel bajo y C en su nivel alto el rendimiento es menor en comparación cuando B y C se encuentra nivel bajo el rendimiento se incrementa.

En la Figura 4.32, se muestra el diagrama Pareto estandarizado de los factores tomando en cuenta para el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia estadística los determina la línea referencia de 2,13; por 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 estandarizado para el rendimiento de extracto de curcumina

Según la Figura 4.32, se puede observar que el factor temperatura (C) excede la línea de referencia, por lo tanto, es estadísticamente significativo en comparación con los factores tiempo(B), Con.EtOH (A) e interacciones Con.EtOH-tiempo (AB), tiempo-temperatura (BC), Con.EtOH-temperatura (AC); ya que no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.1.2 Coeficiente de regresión para el porcentaje de rendimiento del extracto de curcumina

Según la ecuación (3.2) del modelo de regresión para un diseño 2^k ; en la ecuación (4.2) se observa el modelo de regresión que se ajusta a los datos experimentales para el rendimiento de las muestras del extracto de curcumina, extraídos de la Tabla L.1.2 (Anexo L).

$$\text{Rendimiento} = 48,4209 - 0,52112*A - 0,505938*B - 0,532137*C + 0,00569067*A*B + 0,00586867*A*C + 0,00579178*B*C - 0,0000661333*A*B*C \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

En donde los factores A (Con.EtOH %), B (tiempo de maceración min) y C (temperatura de maceración °C) están especificadas en sus unidades originales.

4.3.1.3 Optimización del rendimiento para las muestras del extracto de curcumina

Para el extracto de curcumina a nivel experimental se utilizaron ocho muestras y las variables tomadas en cuenta se escriben en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23

<i>Optimización de variables respuestas</i>			
Muestras	Concentración del alcohol etílico (%)	Tiempo de maceración (min)	Temperatura de maceración (°C)
C01	90	90	70
C02	95	90	70
C03	90	120	70
C04	95	120	70
C05	90	90	80
C06	95	90	80
C07	90	120	80
C08	95	120	80

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.24, se observa los valores óptimos para maximizar el contenido de rendimiento de las muestras del extracto de curcumina datos extraídos de la Tabla L.1.1 (Anexo L).

Tabla 4.24

Valores óptimos para maximizar el rendimiento de extracto de curcumina

Factores		Bajo	Alto	Optimo
Concentración del alcohol etílico	(A)	90	95	90
Tiempo de maceración	(B)	90	120	90
Temperatura de maceración	(C)	70	80	70

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.24, se observa que los valores óptimos de los factores para maximizar el rendimiento del extracto de curcumina corresponden a una concentración de alcohol etílico del 90 %, un tiempo de maceración de 90 minutos y una temperatura de maceración de 70 °C, con un rendimiento óptimo de 0,793767 %. Por lo tanto, se seleccionó la muestra C01, por considerarse la más representativa para maximizar el rendimiento del proceso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental del extracto de curcumina y según datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- En base a los análisis físicos de los rizomas de cúrcuma presenta un promedio: peso 19,31 g; porción comestible 13,80 g; peso no comestible 5,51 g. Así mismo, el porcentaje de peso comestible del 71,44% y porcentaje del peso no comestible 28,56%.
- Según los resultados fisicoquímicos del rizoma de cúrcuma (*Curcuma Longa*) tiene: acidez n.d (no detectable), ceniza 1,26 g/100g, fibra 1,32 g/100g, grasa 0,21 g/100g, hidratos de carbono 11,66 g/100g, humedad 85,98 g/100g, proteína total (N x 6,25) 0,89 g/100g, pH 6,55 y valor energético 53 Kcal/100g. Así mismo, los micronutrientes: calcio 13,8 mg/100g y hierro 0,77 mg/100g.
- De acuerdo con los análisis microbiológicos del rizoma de cúrcuma (*Curcuma Longa*), indican que: *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, coliformes totales $3,8 \times 10^3$ UFC/g y mohos y levaduras $3,7 \times 10^4$ UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- Realizado el análisis cuantitativo del extracto comercial de curcumina, evidenciándose que el ensayo 3 presenta una correlación lineal entre la concentración y la absorbancia con un valor de $R^2 = 0,99908$. Por consiguiente, este ensayo fue seleccionado como curva patrón de referencia.
- Según las pruebas experimentales realizadas, se determinó que la prueba 3; presento mayor coeficiente de correlación lineal $R^2 = 0,9958$ en función de la concentración y transmitancia (%).
- Según los tratamientos preliminares realizadas, se determinó que la temperatura influye significativamente en el rendimiento promedio entre (0,5274-0,5664) % del

extracto de curcumina, observándose los valores más altos de rendimiento entre (70-80) °C.

- En base a los tratamientos preliminares se demostró que el tiempo influye en el rendimiento promedio del extracto de curcumina (0,5497–0,5617) %. Los mayores valores se obtuvieron entre (90 -120) minutos.
- Realizado los tratamientos preliminares, se evidenció que la concentración de alcohol etílico (%) influye significativamente en el rendimiento promedio del extracto de curcumina, obteniéndose valores entre (0,4901- 0,5600) %, empleando concentraciones de alcohol etílico al (90- 95) %.
- Realizado el diseño factorial 2^3 del extracto de curcumina, tomando en cuenta los factores concentración de alcohol etílico de 90 %, un tiempo de maceración de 90 minutos y una temperatura de maceración de 70 °C, en el cual presento un rendimiento de 0,793766 %.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda comparar el método de maceración asistida con otros métodos de extracción, como Soxhlet, ultrasonido y/o microondas, a fin de identificar cuál de ellos permite obtener mayor cantidad de porcentaje de rendimiento del extracto de curcumina.
- Se recomienda complementar el análisis del extracto de curcumina utilizando el método de HPLC, con el fin de comparar los porcentajes de rendimiento obtenidos por el método espectrofotométrico UV-Vis. Esto permitirá asegurar resultados más confiables.
- Se recomienda realizar estudios con otros rizomas o tubérculos que contengan pigmentos naturales, como remolacha, camote morado, oca morada y papa morada, entre otros. Con el objetivo de obtener extractos con altas concentraciones de

compuestos naturales, que puedan ser utilizados en industrias alimentarias, cosméticas o farmacéuticas.