

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Breve historia de origen

La cebolla (*Allium cepa* L.), originaria de Asia central, está muy introducida en la dieta mediterránea, es una de las hortalizas de consumo más antiguas y su cultivo está extendido por todo el mundo. Se ha adaptado a diferentes hábitats en climas cálidos, semicálidos, semisecos y templados.

Ha sido cultivada desde los tiempos de los antiguos egipcios, hace más de 4.000 años. Se trata de una de las plantas que todas las culturas han adaptado a su cocina por la gran cantidad de beneficios que proporciona a la salud. Desde el esplendor del antiguo Egipto, la cebolla ha ocupado un lugar privilegiado, no sólo como alimento, sino como medicamento.

Características

La cebolla morada además de destacar por su color, tiene un sabor dulce más pronunciado que otros tipos de cebolla. Es muy apreciada, de bulbo grande y globoso, que se cultiva en primavera y verano. Es ligeramente picante, más dulce que otras variedades, igual que la cebolla blanca, y goza de buena conservación. La cebolla morada debe su color tan característico a la presencia de antocianinas en las capas superiores de cada anillo. Estos compuestos también son los responsables de dar color a otras frutas y verduras como las berenjenas o las cerezas.

Este tipo de pigmento es soluble en agua, por ello, cuando la cebolla morada es cocinada pierde su color característico.

La cebolla como producto hortícola, presenta la posibilidad de ser almacenada durante un periodo de tiempo variable, posibilitando un aprovisionamiento regular al mercado, característica que permite su comercio no solo entre países limítrofes, sino también con

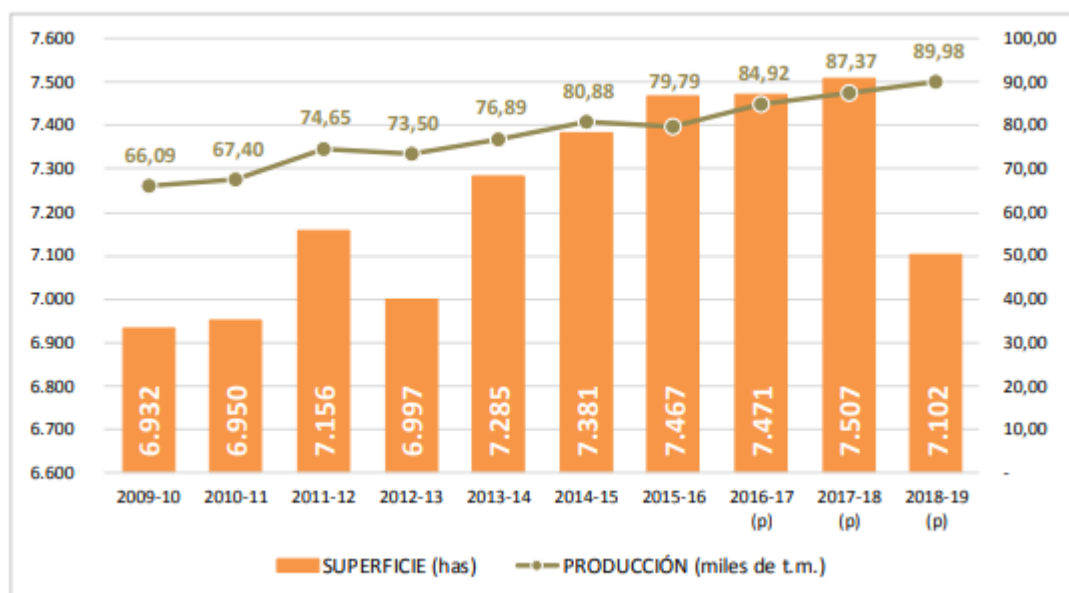
distintos hemisferios. Pese a lo señalado, apenas el 8% de la producción participa en los mercados internacionales (ODEPA, 2010). Los principales productores son China e India y los principales exportadores de cebolla son Holanda y China.

Producción

• Producción de Cebolla en Bolivia

En Bolivia el cultivo de la cebolla se distingue entre la producción de cebolla de verdeo y la producción de cebolla en bulbo o seca, la producción nacional de cebolla en bulbo, comprende la mayor parte de la superficie cultivada. El área cosechada de cebolla en conjunto logró alcanzar 7.102 hectáreas en la campaña agrícola 2019, algo menor a lo observado en la campaña anterior, pero que debido a una mejora en los rendimientos se logró incrementar los volúmenes de producción hasta alrededor de 89.98 mil toneladas en dicha campaña (DAPRO, 2020).

Volumen de producción y superficie del cultivo de Cebolla, 2009-2019

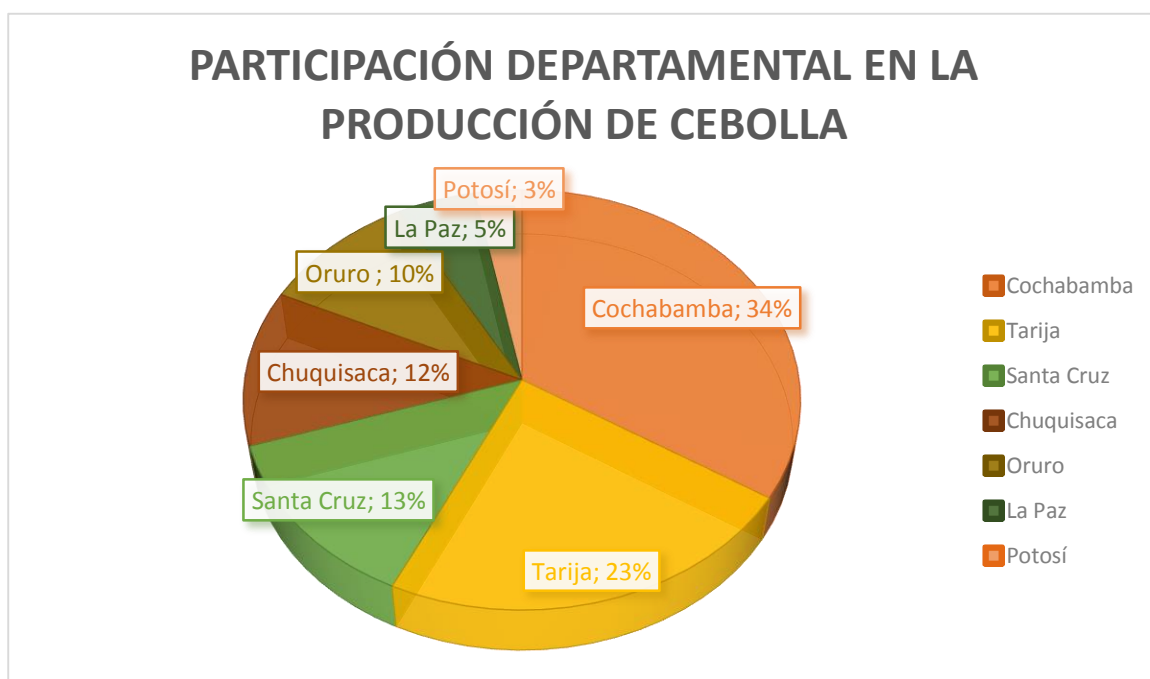


Fuente: INE, Elaboración: MDPyEP-DAPRO

- **Distribución geográfica de la producción**

Según estimaciones conjuntas entre el Instituto Nacional de Estadística y el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, el departamento de Cochabamba es el mayor productor de cebolla a nivel nacional al haber alcanzado un volumen de producción de 30,405 toneladas durante la campaña agrícola 2018 – 2019, seguido del departamento de Tarija que logró obtener una producción de 20,243 toneladas en esta última campaña agrícola. Santa Cruz aparece como tercer productor de cebolla a nivel nacional con un volumen de producción de 11,612 toneladas. (INE, 2019)

Participación departamental en la producción de Cebolla, 2018-2019 (En porcentaje)



Fuente: INE, **Elaboración:** MDPyEP-DAPRO

Aspecto del producto

Breve historia de los colorantes

En la antigüedad los colorantes naturales eran muy utilizados, como en las civilizaciones precolombinas, América Latina, y la de los antiguos egipcios, los cuales

sentaron bases desde el uso en la tinción textil, alimentos y cosméticos. Mucho tiempo después sus propiedades se ampliaron a la tinción de productos farmacéuticos. (Castillo y Ramírez; 2006).

Las primeras fibras teñidas fueron usadas en tiempos prehistóricos alrededor del año 1000 a.C. Se reporta también hacia el año 1550 d.C. la utilidad en tribus de todo el mundo para colorear sus vestimentas. Hasta mediados del siglo XIX las plantas, animales y minerales fueron las únicas fuentes como agentes colorantes para teñir o pigmentar. Algunos colorantes como el índigo y la cochinilla han sido cultivados comercialmente a gran escala, utilizado como colorante textil. (Cano Lasso; 2015).

- **Importancia de los colorantes en las diferentes industrias**

Los colorantes naturales son los preparados obtenidos a partir de los alimentos y otras materias naturales obtenidas mediante una extracción física o química que ocasione una selección de los pigmentos. Presentan una gran demanda en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética para el reemplazo del uso de colorantes sintéticos, son mejores productos, simplemente porque no contienen componentes químicos perjudiciales para la salud. Entre estos colorantes naturales encontramos las antocianinas, son un grupo de pigmentos vegetales solubles en agua, presentes en vegetales, frutas y en muchos casos son las responsables de su color.

Importancia de los colorantes naturales en las diferentes industrias:

- ✓ **Colorantes en la Industria Textil:** Sin duda, la industria textil ha echado mano del uso de colorantes naturales, sobre todo las prendas que son diseñadas manualmente; sin embargo, en la actualidad, existen algunas marcas de ropa de prestigio que han comenzado a utilizar colorantes provenientes de la naturaleza, un elemento que otorga un valor agregado a sus prendas, las cuales pueden ofrecer a costos mucho más elevados. Lo cierto es que también existen muchas otras industrias textiles que implementan colorantes artificiales, los cuales son altamente contaminantes porque han sido diseñados para ser muy duraderos y resistentes. Por ello es que también se ha intentado fomentar el uso de colorantes naturales, puesto

que la contaminación del agua provocada por los colorantes artificiales es muy elevada.

- ✓ **Colorantes en la Industria Alimenticia:** Debido a las razones de salud que ya mencionamos anteriormente, el uso de colorantes naturales es una de las mejores alternativas para evitar enfermedades o daños a la salud. Sabemos muy bien que los colorantes de origen natural no producen ningún tipo de efecto dañino, por lo que ustedes pueden tener la certeza de que su salud no correrá ningún riesgo. Una de las principales virtudes de los colorantes de origen natural es que ofrecen diferentes tonalidades y aromas de un mismo producto, lo que se traduce en una mayor calidad en el producto que usted produce. Deben saber que los colorantes naturales se utilizan en distintas bebidas, carnes, embutidos, e incluso en algunos productos lácteos y fermentados.
- ✓ **Colorantes en la Industria Cosmética:** El color es uno de los elementos más importantes cuando se habla de cosméticos, puesto que de él dependerá que las mujeres puedan lucir un estilo increíble. En este sentido es muy importante utilizar los colorantes naturales, puesto que están en contacto directo con la piel del ser humano. Con el uso de estos cosméticos es posible disminuir los efectos tóxicos que pueden existir con los productos de color artificiales. Los productos naturales no tienen ninguna síntesis química, lo que evita el daño en la piel de las mujeres, que son quienes utilizan con mayor frecuencia los cosméticos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Obtener colorante natural (antocianina) a partir de la cebolla morada (*Allium Cepa*) producido en el departamento de Tarija.

Objetivo Específicos

- Caracterizar la materia prima, la cebolla morada para la obtención de colorante natural.
- Seleccionar el proceso para la obtención del colorante natural a partir de la cebolla morada.
- Diseñar y ejecutar la fase experimental del proceso de obtención del colorante natural a partir de la cebolla morada.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del producto obtenido.
- Evaluar los costos para la obtención del colorante natural a partir de la cebolla morada.

JUSTIFICACIÓN

Impacto Tecnológico

La presente investigación se realizó a favor del progreso en el desarrollo del método más eficiente que nos permita la extracción del colorante natural (flavonoides) de la cebolla morada con el fin de un amplio uso en las diferentes industrias que impulsa la evolución del país a todo nivel y en todos los aspectos.

Los equipos empleados para obtener colorante natural de la cebolla morada basada en la extracción sólido-líquido se encuentra disponible dentro del país, este proceso está

diseñado a escala laboratorio, pero puede ser producido a gran escala para mejorar el desarrollo productivo de colorantes naturales.

Impacto Social.

Como se conoce hoy en día es una necesidad mejorar y proteger la calidad de vida de las personas y uno de los factores determinantes en esta cuestión es la alimentación, en la cual se ven involucrados los colorantes que las personas consumen dentro de su dieta diaria no importa si son en pequeñas o grandes cantidades, por tal motivo se plantea como una mejor opción los colorantes de tipo natural, en este caso, a partir de la cebolla morada impidiendo así provocar enfermedades graves que pueden ser ocasionadas por los colorantes de tipo sintético. Hay evidencia científica de que los colorantes sintéticos en términos generales pueden tener propiedades genotóxicas, carcinogénicas, hay problemas de trastornos por déficit de atención e hipersensibilidad sobre todo en niños y adolescentes, disminuyen la diversidad de la microbiota intestinal, se han asociado con un aumento en el metabolismo de la glucosa y puede generar hiperglucemia”. (Sepúlveda, 2023)

Esta investigación contribuye a la búsqueda de nuevas fuentes de ingreso, además de la generación de nuevos empleos lo cual va a generar la calidad de vida de los productores en Tarija.

Impacto Económico

La cebolla es una de las hortalizas de mayor consumo en Bolivia, en la agroindustria, la utilización de los colorantes naturales es de gran beneficio para los agricultores pues ellos tendrían más fuentes de trabajo en cuanto a cultivos y cosechas, además de una mayor producción dada la mayor demanda de materia prima que no solamente se utilizaría para el consumo directo sino también para la refinación de la misma, lo cual lleva a la posibilidad de tener altas ventas de sus cosechas y por ende una estabilidad económica más satisfactoria en la obtención de colorantes ya que estos se

pueden comercializar tanto en la industria textil, alfarera, cosmética, farmacéutica y alimenticia, y así disminuir el uso de colorantes sintéticos.

Impacto Ambiental

Los métodos de extracción de colorante natural no son sustancialmente contaminantes o de impacto negativo para el medio ambiente, ya que no se utilizan reactivos dañinos para su producción entonces la población no será sometida a ningún tipo de contaminación. Además, que la materia prima es obtenida en base a los desechos de la cebolla morada que no tienen ningún uso, entonces sería una buena forma de evitar la contaminación y generación de desechos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

1.1 Colorantes

Los colorantes han sido ampliamente utilizados en la preparación de alimentos y bebidas y continúan haciendo a nivel mundial una contribución significativa en la preparación y procesamiento de los mismos. Así mismos, desde Antiguo, antes del desarrollo de la industria de colorantes de síntesis, el teñido de las fibras se hacía con plantas conteniendo colorantes naturales, llamadas especies tintóreas, las que eran cultivadas a gran escala constituyendo una importante fuente de ingresos para los países productores. (*Colorantes naturales* - Olga Lock Sing de Ugaz, s. f., p. 15)

Los colorantes son compuestos orgánicos que se aplican a un sustrato que pueden ser fibras textiles, cuero, papel, plástico o alimentos para darle un color más o menos permanente dependiendo de las características de absorción del mismo sustrato. Los colorantes pueden ser naturales, si son extraídos de una sustancia vegetal, animal o mineral, o sintéticos, si son productos modificados química o físicamente.

1.1.1 Colorantes naturales

La distinción entre natural y artificial, términos muy utilizados en las polémicas sobre la salubridad de los alimentos, es de difícil aplicación cuando se quiere hablar con propiedad de los colorantes alimentarios. En sentido estricto, solo sería natural el color que un alimento tiene por sí mismo. Esto puede generalizarse a los colorantes presentes de forma espontánea en otros alimentos y extraíbles de ellos, pero puede hacer confusa la situación de aquellas sustancias totalmente idénticas pero obtenidas por síntesis química.

Los colorantes naturales son considerados en general como inocuos y consecuentemente las limitaciones específicas en su utilización son menores que las que afectan a los colorantes artificiales.

1.1.2 Colorantes artificiales

Los colorantes artificiales son solubles en agua, debido a la presencia de grupos de ácido sulfónico y consecuentemente son fáciles de utilizar, generalmente en sales sódicas, en líquidos y materiales pastosos. Estos son obtenidos por síntesis química, se conocen en la actualidad aproximadamente más de 3.000, aunque son utilizados en el área de alimentos menos del diez por ciento.

1.1.3 Colorantes minerales

Los colorantes minerales no son utilizados en área de alimentos por llevar iones metálicos como ser: sulfato de cobre, cromato de plomo, etc.

1.2 Clasificación de los colorantes naturales según su composición química

Tabla I-1: Clasificación de los colorantes naturales

Naturaleza química	Algunos ejemplos	Color predominante	$\lambda_{\max}^*$, nm
Tetrapirroles (lineales y cíclicos)	Ficobilinas Clorofila	Azul – verde Amarillo – rojo Verde	610–650 (fitocianinas) 540–570 (ficoeritrinas) 640 -660
Flavonoides	Flavonas Flavonoles Chalconas Auronas Antocianinas	Blanco – crema Amarillo – blanco Amarillo Amarillo Rojo – azul	310-350 330-360 340-390 380-430 480-550
Xantonas	Xantonas	Amarillo	340-400
Quinonas	Naftoquinonas Antraquinonas	Rojo-azul-verde Rojo – púrpura	420-460
Derivados indigoides e índoles	Indigo Betalaínas	Azul – rosado Amarillo – rojo	470-485 (betaxantinas) 530-554 (betacianinas)
Pirimidinas sustitutivas	Ptérimas Flavinas Fenoxazinas Fenazinas	Blanco – amarillo Amarillo Amarillo – rojo Amarillo-púrpura	

Fuente: Colorantes Naturales, 1997.

1.3 Flavonoides

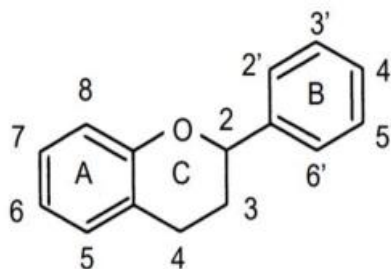
Los flavonoides son compuestos químicos presentes en las plantas, en la actualidad generan mucho interés por sus propiedades antioxidantes y sus posibles beneficios en la salud. Son pigmentos naturales de los vegetales que, a través de la dieta, incorporamos en nuestro organismo. (Martin Elisa, 2022).

Históricamente se han utilizado en la medicina tradicional china para la protección cutánea, mejorar la función cerebral y regular la presión arterial y el azúcar en la sangre.

1.4 Estructura química de los flavonoides

Son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C₆-C₃-C₆), compuesto por dos anillos de fenilos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico). Los átomos de carbono en los anillos C y A se numeran del 2 al 8, y los del anillo B desde el 2' al 6'. La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química. Esta estructura básica permite una multitud de patrones de sustitución y variaciones en el anillo C. (Huasco Roger, 2018).

Figura 1-1 Estructura química básica del flavonoide

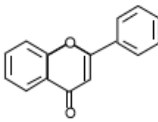
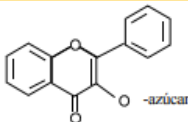
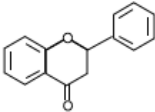
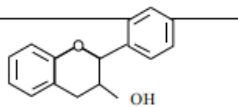
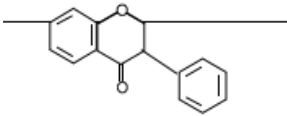
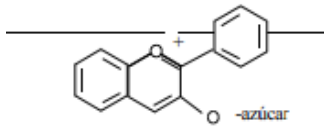


Fuente: Castillo y Ramíres, 2006

1.5 Clasificación de los flavonoides

Los flavonoides se clasifican a partir de sus variaciones estructurales. Dentro del grupo de los flavonoides propiamente dicho, los más destacables por su interés farmacológico son las flavonas, flavonoles, flavanonas y antocianinas.

Tabla I-2 Clasificación de los Flavonoides

SUBCLASE	ESTRUCTURA	COMPUESTOS	FUENTE
Flavona		Sinensetina, apigenina Diosmina luteolina	Hierbas, apio, pimentón, uva naranja y limón
Flavonol		Quercetina, myricetina kaempferol	Cebolla, vino, tomate, naranja, manzana, té, frutas rojas
Flavonona		Naringenina, hesperidina isoxanthohumol	Miel, cítricos, tomate, lúpulo y cerveza
Catequina		Catequina, epicatequina galocatequina	Vino, chocolate, cocoa, té, uva, manzana y pera
Isoflavona		Genisteina, daidzeina gliciteina	Soya y leguminosas
Antocianina		Cianidina, pelargonidina, delfinidina peonidina	Frutas rojas manzana, pera, uva y naranja

Fuente: Ochoa & Ayala (2004). Los Flavonoides.

1.6 Características de los flavonoides

Además de consumirse a través de la dieta, los flavonoides también pueden adquirirse en forma de suplemento, los cuales pueden ser comprados en las farmacias, tiendas de productos naturales o por internet, debiendo consumirse bajo la orientación de un médico o nutricionista, pues se cree que elevadas cantidades de estos compuestos podría disminuir la absorción de algunas vitaminas y minerales, así como ocasionar efectos adversos en la función tiroidea. (De Almeida Andreina, 2021).

Como características generales de estos compuestos debemos señalar su solubilidad en agua y en etanol, su carácter fenólico y su intensa absorción en la región ultravioleta y visible del espectro debido a la presencia de sistemas aromáticos y conjugados. Una clasificación preliminar del tipo de flavonoide en un extracto de planta, puede hacerse basada inicialmente en un estudio de sus propiedades de solubilidad y de comportamiento ante reacciones de color; esto, seguido por un examen cromatográfico directamente del extracto y/o del extracto hidrolizado (Lock Sing O., 1997).

Los flavonoides se emplearon durante mucho tiempo como colorantes de lana, y actualmente se usan en la conservación de grasas o jugos de frutas debido a propiedades antioxidantes de algunas polihidroxiflavonas. Entre otras aplicaciones, mencionaremos la de los glucósidos de dihidrochalconas como edulcorantes, de la rotenona como insecticida, etc. (Lock Sing O. 1997).

Según un artículo de revisión publicado en Nutrición Hospitalaria, existen más de 5000 tipos diferentes de flavonoides. De manera general, según su estructura y la vía metabólica que siguen, se distinguen tres grupos: flavonoides, isoflavonoides y neoflavonoides. Los alimentos en los que se suelen encontrar son los siguientes:

- **Vino:** tiene un alto contenido de flavonoides. Esto se debe a que la mayoría de ellos proceden del proceso fermentativo de la uva.
- **Cerveza.**

- **Alimentos con soja.**
- **Vegetales:** cebollas, brócoli, repollo rojo, rábano, remolacha, puerros.
- **Frutas:** limón, manzana, cereza y uvas.
- **Té verde y té negro**

1.7 Los flavonoides: Quercetina

La quercetina es un flavonol que se encuentra presente generalmente como O - glicósidos en altas concentraciones tanto en frutas como en verduras en especial en la cebolla. Es el flavonoide más abundante y habitual en la dieta humana. Forma parte de otros flavonoides, como la naringenina o la rutina, que tienen grupos de azúcar unidos a ella. Por ejemplo, algunas clases de cebolla (como la roja) contienen tanta quercetina que el compuesto representa el 10% de su peso seco. Otros alimentos con niveles elevados de quercetina son las manzanas, las uvas, el brócoli o el té.

La ingesta de quercetina en la dieta, bien a través de alimentos ricos en esta sustancia o bien mediante complementos alimenticios a base de la misma, se ha relacionado con diversos efectos beneficiosos para la salud. (Prieto Vicente 2013.)

1.8 Beneficios de los flavonoides

Los principales beneficios para la salud que puede aportar el consumo de alimentos ricos en flavonoides son:

- **Combatir las infecciones**, ya que posee actividad antimicrobiana que ayuda a combatir virus como la influenza y bacterias. Incluso algunos estudios científicos refieren que los flavonoides podrían formar parte del tratamiento para prevenir la Covid-19, pues se han reportado previos efectos contra 5 tipos de virus de ARN con manifestaciones similares a las del coronavirus;

- **Retrasar el envejecimiento prematuro y mantener la piel saludable**, ya que evitan el daño que causan los radicales libres a las células;
- **Prevenir enfermedades cardiovasculares**, pues ayudan a disminuir el colesterol "malo" LDL, evitan la formación de placas ateromatosas y reducen la inflamación en los vasos sanguíneos, lo cual mejora la circulación y disminuye la presión arterial;
- **Prevenir el cáncer**, pues algunos estudios científicos sugieren que los flavonoides pueden prevenir el cáncer debido a su interacción con varios genes y enzimas, inhibiendo la proliferación celular, mejorando los procesos de separación del ADN y reduciendo el estrés oxidativo, además de inducir la muerte de las células cancerígenas;
- **Aliviar los síntomas de la menopausia y del síndrome premenstrual**, debido a que algunos flavonoides actúan como fitoestrógenos, cuya composición es muy parecida a los estrógenos humanos y ejercen una acción similar;
- **Ayudar en el control de peso**, ya que reduce los procesos inflamatorios y la cantidad de leptina, que es considerada la hormona del hambre, controlando el apetito;
- **Aumentar la densidad ósea**, disminuyendo el riesgo de osteoporosis, debido a que, al actuar como fitoestrógenos, ayuda a contrarrestar la acción de algunas hormonas que promueven la reabsorción ósea e impiden la pérdida de calcio de los huesos.

Asimismo, el consumo regular de los alimentos ricos en flavonoides ayuda a prevenir enfermedades neurovegetativas, como el Alzheimer, la demencia senil y el Parkinson. Esto puede deberse a que los flavonoides poseen actividad antioxidante, que además de proteger a las células nerviosas del daño causado por los radicales libres, mejoran el flujo de sangre cerebral, haciendo con que se mantengan las funciones cognitivas y neuronales del cerebro (De Almeida A. 2021).

1.9 Consecuencias del consumo de colorantes artificiales

Los colorantes alimentarios artificiales son responsables de los colores brillantes de los dulces, las bebidas deportivas y los alimentos horneados. Incluso se utilizan en determinadas marcas de encurtidos, salmón ahumado y aderezos para ensaladas, así como en medicamentos. El consumo de colorantes alimentarios artificiales ha aumentado un 500% en los últimos 50 años y los niños son los mayores consumidores.

A lo largo de los años, se han desarrollado cientos de colorantes alimentarios artificiales, pero desde entonces se ha descubierto que la mayoría de ellos son tóxicos. Actualmente sólo se encuentran unos pocos colorantes químicos en los alimentos.

Los fabricantes de alimentos suelen preferir los colorantes alimentarios artificiales a los colorantes naturales, como el betacaroteno y el extracto de remolacha, porque producen colores más vibrantes. Sin embargo, existe bastante controversia con respecto a la seguridad de los colorantes alimentarios artificiales. Todos los colorantes artificiales que se utilizan actualmente en los alimentos han sido sometidos a pruebas de toxicidad en estudios con animales. (Medicover, 2023)

Los estudios demuestran que estos colorantes artificiales pueden llegar a ser peligrosos para nuestra salud y se recomienda no comer productos que los contengan. Estos colorantes aceleran las células cancerígenas en el cuerpo humano, así como generan en los niños hiperactividad al consumirlos en productos de confitería, trayendo además problemas de digestión, generando también alergias por su consumo. (Imbarex, 2024)

Los colorantes artificiales utilizados actualmente en los alimentos. Son los siguientes:

- **Rojo N° 3 (Eritrosina)** - Colorante rojo cereza comúnmente utilizado en dulces, paletas heladas y geles para decorar pasteles.
- **Rojo N° 40 (Rojo Allura)** - Colorante rojo oscuro que se utiliza en bebidas deportivas, dulces, condimentos y cereales.
- **Amarillo N° 5 (Tartrazina)** - Colorante amarillo limón que se encuentra en dulces, refrescos, papas fritas, palomitas de maíz y cereales.
- **Amarillo N° 6 (Amarillo Atardecer)** - Colorante de color amarillo anaranjado que se utiliza en dulces, salsas, productos horneados y frutas enlatadas.
- **Azul N° 1 (Azul Brillante)** - Un tinte azul verdoso que se utiliza en helados, guisantes enlatados, sopas envasadas, paletas heladas y glaseados.
- **Azul N° 2 (Índigo Carmín)** - Un tinte azul real que se encuentra en dulces, helados, cereales y bocadillos.

Las consecuencias del consumo de estos colorantes artificiales son:

- **Reacciones alérgicas**

Algunos colorantes alimentarios artificiales, especialmente el azul 1, el rojo 40, el amarillo 5 y el amarillo 6, pueden provocar reacciones alérgicas en personas sensibles. Por ejemplo, una investigación vincula el amarillo 5 con las alergias a la aspirina y asma. Las personas que sufren de urticaria crónica o hinchazón tienen un 52% más de probabilidades de reaccionar a los colorantes alimentarios artificiales. Si alguna vez experimentas síntomas de malestar después de comer, es importante que tomes nota y consultes con un médico.

- **Potencial de cáncer**

Quizás la afirmación más aterradora contra los colorantes alimentarios artificiales tenga la investigación menos respaldada. De hecho, los estudios que utilizaron Azul 1, Rojo 40, Amarillo 5 y Amarillo 6 no encontraron evidencia de efectos cancerígenos. No podemos decir lo mismo del Azul 2 y del Rojo 3.

En las personas expuestas a una dosis alta de Blue 2, Blue 2 observó un gran aumento en los tumores cerebrales. Al final, los investigadores no pudieron determinar si Blue 2 causaba los tumores.

El tinte más controvertido, el rojo 3, aumentó de manera concluyente el riesgo de tumores de tiroides en ratas expuestas a él. El Rojo 3 ha sido reemplazado en gran medida por el Rojo 40, pero todavía se usa en cerezas marrasquino, paletas heladas y dulces.

- **Hiperactividad en niños**

Ya en la década de 1970, comenzaron a surgir afirmaciones de hiperactividad y problemas de aprendizaje en niños causados por colorantes alimentarios artificiales. En ese momento, había muy poca evidencia científica que respaldara estas afirmaciones. Aún así, muchos padres tomaron precauciones con respecto a los colorantes alimentarios artificiales, manteniendo las afirmaciones relevantes y más investigadas. Más recientemente, varios estudios han encontrado una asociación pequeña pero significativa entre los colorantes alimentarios artificiales y la hiperactividad en los niños. (Medicover, 2023)

1.10 Métodos y técnicas de extracción de colorantes naturales

1.10.1 Arrastre con vapor

En este tipo de extracción se utiliza el agua como el solvente, cuando el vapor entra en contacto con el material vegetal, hace que los compuestos aromáticos, que generalmente posee un punto de ebullición más bajo que el agua, se vaporicen y sean arrastrados junto con el vapor hasta el condensador, en el cual se condensa junto con el vapor de agua.

Esta técnica funciona para extraer aceites esenciales en general, pero no para aislar un compuesto determinado. Además, pueden encontrarse algunos compuestos que puedan degradarse con la temperatura del vapor. Así que a medida que la industria de los aceites esenciales se fue especializando, el arrastre por vapor ha sido dejado de lado a favor de tecnologías que funcionen a menor temperatura y pueda extraerse la mayor cantidad de compuestos esenciales (Néstor, 2016)

Figura 1-2: Equipo de destilación por arrastre con vapor escala laboratorio

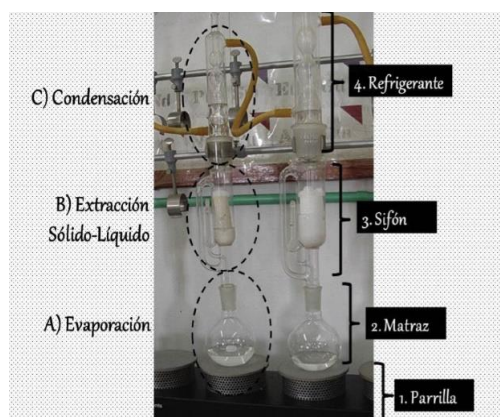


Fuente: Irene Casado, 2018.

1.10.2 Extracción con equipo Soxhlet

La extracción con equipo Soxhlet es del tipo sólido-líquido, el método consiste en calentar un disolvente el cual se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente, posteriormente este es sifonado al matraz de calentamiento para volver a comenzar el proceso. La gran ventaja del Soxhlet es la eficacia en el proceso de remojo de la fase sólida.

Figura 1-3 Equipo para extracción Soxhlet



Fuente: Marta Gabriela, Universidad Veracruzana 2009.

1.10.3 Extracción con Fluidos Supercríticos

En términos generales y científicos, un fluido supercrítico posee propiedades entre las de un gas y las de un líquido. Los fluidos supercríticos son utilizados para reemplazar a los solventes en la extracción, medio de reacción o secado. Una de las sustancias más estudiadas es el dióxido de carbono, que tiene la ventaja de tener una temperatura crítica relativamente baja (cerca de 30 °C), baja toxicidad y alta disponibilidad (Néstor, 2016).

La desventaja de este método es el costo, presiones altas a manejar los equipos involucrados deben tener la suficiente resistencia mecánica para poder soportar tales presiones y en caso de reacciones oxidativas en medio supercrítico y alto poder corrosivo. (Néstor, 2016).

Figura 1-3: Equipo de extracción con Fluidos Supercríticos



Fuente: Fundación Universitaria Juan N. Corpas

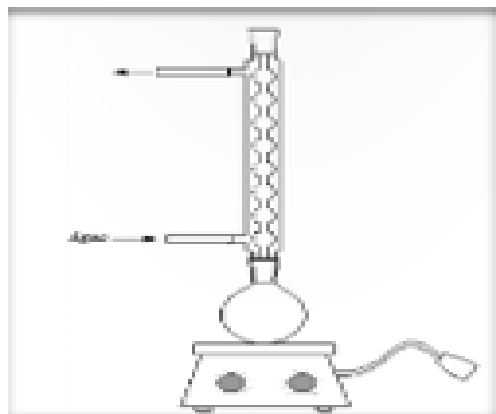
1.10.4 Extracción mediante maceración dinámica con reflujo

Este método de extracción las dos fases son móviles. Se coloca la materia prima dentro de un matraz y se pone en contacto directo con la solución extractora, debido a que la temperatura de ebullición del solvente es baja (en un rango entre 77 °C y 94 °C) y su presión de vapor es alta. Al sistema se acopla un condensador de Allihn o de bolas; al llegar a la temperatura de ebullición del solvente la presión de vapor aumenta, por lo que el uso de un condensador de Allihn se hace más necesario para que se logre llevar a cabo el reflujo. Ambas fases se someten a un proceso de agitación con un agitador magnético logrando de esta manera la transferencia de momento para acelerar la transferencia de masa, durante 180 minutos en contacto, materia prima, solvente y así poder llegar a un proceso eficiente en la extracción (Néstor, 2016).

Este método extractivo aplica agitación dinámica a la mezcla. Las ventajas que presenta, se pueden mencionar a la obtención de rendimientos más altos, ya que es necesario aplicar calor a la mezcla. La aplicación de agitación propicia también, mayores rendimientos extractivos o bien reducir el tiempo extractivo. La reutilización de la mezcla gaseosa, gracias al condensador superior, ayuda a prevenir la pérdida de sustancias volátiles. Las ventajas de utilizar este equipo, rendimientos más altos por la

aplicación de calor y movimiento en la solución, de igual forma el solvente utilizado no se evapora por el condensador.

Figura 1-4: Equipo de Extracción maceración dinámica con reflujo



Fuente: Néstor Octavio Dueñas Sarmiento FUAC

1.11 Factores que influyen en la velocidad y rendimiento de extracción

1.11.1 Tamaño de partícula

Es muy importante tener un tamaño homogéneo para el cual se requiera el mismo tiempo de extracción para cada partícula sólida, de tal manera que alcance una buena superficie de contacto, sin ser un material fino que dificulte su manipulación.

La mayor superficie de contacto favorece la velocidad de transferencia del material sólido al solvente y facilita la difusión del soluto hacia el solvente por la menor distancia que recorre (Simons, 2010).

1.11.2 Tiempo de extracción

El tiempo de extracción tiene una importancia fundamental sobre la cantidad de colorante extraído, donde la mayor parte de colorante natural se extrae en los primeros noventa minutos, siendo la productividad y rendimiento más alto. (Terrones, 2018)

1.11.3 Tipo de solvente

El solvente debe ser lo más selectivo posible, con una viscosidad lo suficientemente baja para facilitar su flujo a través del sólido y de bajo punto de ebullición para que el extracto pueda concentrarse por la evaporación del solvente. (Trujillo, 2010)

1.11.4 Agitación del solvente

El agitador debe tener una velocidad de 100 rpm, considerando una velocidad alta para una plancha electromagnética, puesto que, si es menor, el rendimiento de extracción no es favorable. (Huasco, 2018)

1.11.5 Temperatura del solvente

El aumento de temperatura del solvente favorece la solubilidad y el aumento de la extracción de colorante. Para el colorante extraído de la cebolla morada se trabaja a una temperatura de 70 y 90 °C, ideal para su extracción. (Terrones, 2018)

1.12 Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas del grupo Flavonoides

1.12.1 Método de Espectrofotometría UV

Son métodos de análisis químico que utilizan la luz para medir la concentración de las sustancias químicas. Según sea la radiación utilizada como ser: espectrofotometría de absorción visible, infrarroja y ultravioleta.

Cada componente de la solución tiene su patrón de absorción de luz característico. Comparando la longitud de onda y la intensidad del máximo de absorción de luz de una muestra versus soluciones estándar, es posible determinar la identidad y la concentración de componentes disueltos en la muestra (solución incógnita). Los espectros UV de los flavonoides en metanol presentan bandas características debido a los sistemas conjugados de los anillos aromáticos.

1.12.1.1 Instrumentación para la medición de absorbancias de luz visible y ultravioleta: Espectrofotómetro UV – Visible

La medición de absorbancia de la luz por las moléculas se realiza en unos aparatos llamados espectrofotómetros. Aunque pueden variar en diseño, en especial con la incorporación de ordenadores para el análisis de datos, todos los espectrofotómetros constan, según se indica a continuación:

- a) Una fuente de energía radiante. - Lámpara de deuterio y tungsteno
- b) Un monocromador para la selección de radiaciones de una determinada longitud de onda. - Filtros, prismas, redes de difracción
- c) Un comportamiento donde se aloja un recipiente transparente (cubetas o tubos) que contenga la muestra. Pueden ser de vidrio, cuarzo o plástico transparente. Para medir en UV se deben usar las de cuarzo o sílice fundido, porque el vidrio no transmite la radiación UV
- d) Un detector de luz y un amplificador convertidor de las señales luminosas en señales eléctricas
- e) Un registrador o sistema de lectura de datos

1.12.1.2 Fundamentos del método: Ley de Beer – Lambert

La ley de Beer – Lambert, afirma que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente (Edgar Terrones, 2018)

Definida en la ecuación siguiente:

$$A = \varepsilon * c * b$$

Donde:

ε : Absortividad molar (L/mol cm)

c: Concentración de la sustancia (mol/L)

b: Longitud del camino óptico (cm)

1.12.2 Técnica de Shinoda

Los flavonoides se pueden reconocer experimentalmente mediante diferentes ensayos de coloración. Esta prueba consta en la identificación de glicósidos flavonoides en un extracto a través de una reacción. Es un análisis cualitativo en presencia del grupo químico de flavonoides: (Norma, Ángela, Paola; 2014).

Consta en agregar 2 a 3 virutas de Magnesio y unas gotas de ácido clorhídrico concentrado, a un contenido de 5 ml aproximadamente del filtrado etanólico con el colorante; posteriormente se observa el cambio de coloración. (Corina Cruz y Sara Iveth Rosales; 2007).

1.12.3 Técnica con Zn/HCl

Este ensayo consta del reemplazo de Mg por el Zn en el procedimiento del ensayo Shinoda, solamente los dihidroflavonoles (o flavononoles) producen coloraciones rojo-violetas. Las flavononas y flavanoles no producen color o producen coloraciones rosadas débiles, (Alejandro Martínez M.; 2005)

Consta en agregar 1 gramo de Zn y 1 ml de ácido clorhídrico al 2 %, aun contenido de 5 ml aproximadamente del filtrado etanólico con el colorante, posteriormente se observa el cambio de coloración. (Corina Cruz y Sara Iveth Rosales; 2007).

1.12.4 Técnica con Hidróxido de Sodio

Esta técnica se realiza empleando un medio álcali donde la variación de color muestra:

- Flavonas y Flavonoles: amarillo.
- Flavonas e isoflavononas: diferentes tonos de rojo.
- Calconas: púrpura rojiza.
- Flavonoles: café anaranjado
- Antocianinas: azul.

La técnica consta en agregar 1 ml de NaOH al 5%, a un contenido de 5 ml aproximadamente del filtrado etanólico con el colorante; posterior se observa el cambio de coloración. (Corina Cruz y Sara Iveth Rosales; 2007).

1.13 Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

A continuación, se identifican las ventajas y desventajas de cada método mencionado anteriormente para el proceso de extracción del colorante natural:

Tabla I-3: Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

Método de Extracción	Ventajas	Desventajas
Arrastre con vapor	El tiempo de extracción es más corto comparado con la extracción con el equipo Soxhlet.	Esta técnica es aplicada mayormente para la extracción de aceites esenciales en general, pero no para aislar compuestos determinados. Se obtienen rendimientos bajos, se extraen cantidades menores y de baja calidad.
Equipo Soxhlet	Es un método que permite extraer mayor cantidad debido al reflujo del solvente. Accesible y sencillo de utilizar.	Contaminante al medio ambiente. Se utilizan elevadas relaciones masa/soluto. El efecto combinado de la temperatura y tiempo de extracción puede dar lugar a la inestabilidad del colorante.
Fluidos Supercríticos	Extraen compuestos y almacena sin afectar a los demás. Es un método amigable con el medio ambiente.	Este método tiene un elevado costo, además que requiere equipos especiales. Se trabaja con presiones altas y temperaturas bajas. Poca accesibilidad.
Maceración dinámica con reflujo	Es utilizado para la extracción de colorantes a escala laboratorio. Los tiempos de extracción son relativamente menores.	Tiempos de extracción prolongados para extraer mayores cantidades.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

1.14 **Materia Prima: Cebolla Morada**

1.14.1 **Origen**

El origen primario de la cebolla es Asia Central y como centro secundario las costas del Mediterráneo. Las primeras referencias se remontan hacia 3.200 a.C. fue cultivada por egipcios, griegos y romanos. En la edad media los romanos introdujeron el cultivo en países mediterráneos, donde se seleccionó variedades de bulbo grande que dieron origen a las variedades modernas. La cebolla llegó a América Central por medio de los primeros colonizadores (FDTA Valles, 2011, P. 15)

En Bolivia se introdujo desde Perú, con la denominación Arequipeña Roja, primer ecotipo de la Red Creole en Sud América. La Red Creole o Arequipeña Roja se diseminó rápidamente por las zonas hortícolas de Bolivia, adaptándose y formando ecotipos según las regiones. Siendo así que se van originando la Mizqueña Criolla Rosada, Vinteña, Caramarqueña (Cochabamba y Tarija) son ecotipos rojos y pungentes (FDTA Valles, 2006).

Hoy es quizás la planta vegetal más cultivada en Italia, tanto por sus cualidades organolépticas como por el alto contenido de sales, vitaminas y principios antibióticos. Cebollas hay muchas variedades con diversas formas y colores, pero las diferencias más importantes están relacionadas con el área de origen y el momento de la cosecha. (ecosostenible, 2023)

1.14.2 **Propiedades**

Las principales propiedades que contiene la cebolla son vitamina C, quercetina, azufre, flavonoides, hierro, cromo y fibra. Esta cebolla contiene más antioxidantes que la blanca y ayuda a mejorar la memoria. Buena para sistema digestivo, combate el estreñimiento y ayuda a prevenir los parásitos intestinales, gracias a su rico contenido en quercetina. Es un buen remedio natural para regular los niveles de glucosa en sangre en las personas con diabetes. Beneficiosa para la salud cardiovascular y para prevenir el envejecimiento. Es digestiva, previene la caída del cabello, disminuye la

osteoporosis, mantiene una piel sana y radiante, antiinflamatoria y anticancerígena. (*Cebolla morada (kg)*, s. f.)

1.14.3 Aspectos Nutricionales de la Cebolla

La cebolla está compuesta, principalmente, por agua (un 89%). Los carbohidratos son su nutriente más abundante y apenas proporcionan proteínas (1,2%) ni grasas (0,2%).

En cuanto a vitaminas y minerales, contiene vitamina C, potasio, calcio y fósforo, así como un alto porcentaje de cromo y pequeñas cantidades de azufre, bromo, cobalto, cobre, magnesio, silicio y zinc. También contiene fitoquímicos (destaca el flavonoide quercetina). Este antioxidante, más potente que la vitamina E, tiene propiedades antiinflamatorias, antialérgicas y protectoras frente al cáncer (mama, colon y próstata), además, contribuye a reducir los síntomas de fatiga, ansiedad y depresión.

Tabla I-4 Composición nutritiva de la cebolla por 100 gr de producto comestible

Nutrientes	
Valor energético (cal)	44.32
Humedad en (%)	88.20
Proteína (g)	0.81
Grasa (g)	0.21
Hidratos de carbono (g)	10.48
Fibra cruda (g)	0.54
Calcio (g)	31.40
Fosforo (g)	31.22
Hierro (g)	0.53
Vitamina A (mg)	24.30
Tianina (mg)	0.02
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.45
Ácido Ascórbico (mg)	10.00
Porción comestible en (%)	0.86

Fuente: (UMSS, 1979)

1.14.4 Zonas de producción en Bolivia

En Bolivia, la producción de cebolla se realiza prácticamente durante todo el año, aunque son microclimas de cada región los que determina las fechas adecuadas de siembra y trasplante de este cultivo.

Tabla I-5: Zona de Producción de cebolla en Bolivia

DEPARTAMENTO	ZONA DE PRODUCCIÓN
Cochabamba	Capinota, Santivañez, Punata, Mizque, Vinto, Sipe Sipe, Sacaba.
Chuquisaca	Culpina y Las Carreras
Tarija	El Puente, Cercado, San Lorenzo, Uriondo y Padcaya.
Santa Cruz	Comarapa y Saipina
Oruro	Cercado, Soracahi, Caracollo y Machacamarca.
La Paz	Patacamaya, Omasuyos.

Fuente: JICA, 2010.

1.14.5 Clasificación Taxonómica de la Cebolla

Tabla I-6: Taxonomía de la Cebolla

Reino	Vegetal
Phylum	Teleomorphytae
Division	Tracheomorphytae
Sub división	Anthomorphyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Monocotyledoneae
Orden	Liliflorares
Familia	Liliaceae
Nombre científico	Allium cepa L.
Nombre comun	Cebolla

Fuente: Ing. M. Sc. Ismael Acosta Galarza

1.14.6 Características morfológicas

1.14.6.1 La Raíz

La cebolla posee un sistema radicular limitado y, como consecuencia, una pobre capacidad de absorción. Luego de la germinación de la semilla, la raíz primaria es producida por la plántula a partir de la radícula. Todas las demás raíces, las cuales se desarrollan posteriormente a partir del tallo verdadero, son raíces adventicias. Desde la etapa de ‘bandera’ de la plántula hasta la etapa de bulbificación (formación del bulbo), la iniciación y elongación de raíces es una prolífera, siempre y cuando haya humedad disponible cercana al tallo verdadero. El sistema de raíces es uno superficial que se extiende mayormente dentro de las primeras 12 pulgadas (30 cm) del suelo, con la mayoría de las raíces en las primeras 6-8 pulgadas (15-20 cm) de profundidad, y lateralmente dentro de un radio usualmente menor de 10 pulgadas (30 cm) del tallo, con la mayoría a 6 pulgadas (15 cm). Como las raíces de la cebolla tienen un largo de vida corto, se van desarrollando nuevas raíces adventicias según van muriendo las viejas (Fornaris Rullan G.J. 2012).

1.14.6.2 Tallo

El tallo de la planta al principio, es pequeño, grueso y no ramifica, cuando pasa el periodo de vernalización el tallo principal alcanza alturas de 1.20 a 1.50 cm. Presenta dos tipos de tallos, uno que es el verdadero que se sitúa en la base de los bulbos y el otro tallo que bota del escapo floral.

1.14.6.3 Bulbo

El bulbo consiste de un tallo bien corto envuelto en hojas modificadas engrosadas, y carnosas, llamadas las ‘escamas’ del bulbo. En un corte transversal del bulbo se puede observar la disposición de las escamas en una serie de capas o túnica y en la base de este se distingue el tallo corto, desarrollado en forma de cono invertido. La base de cada hoja se convierte en una de las ‘escamas’ del bulbo de la cebolla, por lo que el tamaño final del bulbo va a depender en parte del número de hojas presentes al

momento de la iniciación del bulbo y del tamaño de las mismas (Fornaris Rullan G.J. 2012)

1.14.6.4 Hojas

Las hojas son alargadas, fistulosas, envainadoras y puntiagudas en su parte libre, crecen opuestas entre si y de forma alterna a partir del meristemo o yema apical del tallo, posee una superficie cerosa y están compuestas de la lámina y la vaina. Una planta que crece en óptimas condiciones llega a producir entre 13 a 18 hojas.

1.14.6.5 Inflorescencias

La cebolla siendo bianual produce normalmente el escape floral en el segundo año, las flores se producen en umbelas en el tamaño el escape que mide 1 a 1,25 metros de altura y tiene dos grupos de anteras, uno interior y otro exterior.

1.14.6.6 Flores

Estas son vistosas de color blanca o lila reunida en una inflorescencia del tipo umbela, son hermafroditas, están formadas por 6 tépalos, 6 estambres y un gineceo tricarpelar sincárpico con ovario supero y trilocular, con dos primordios seminales por cada lóculo.

1.14.6.7 Semillas

Es pequeña, de color negro, de superficie lisa mientras crece y rugosa al maduras, debido a la pérdida de agua. Luego de la cosecha puede presentar dormición por aproximadamente dos semanas. (JICA 2019).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materia prima para la extracción del colorante natural

La materia prima para la extracción del colorante natural, según pruebas preliminares y también siguiendo trabajos investigados, se dice, que para una mejor extracción la materia prima ideal es la cáscara de la cebolla morada debido a que presenta una mayor concentración de pigmentos, es decir, al utilizar únicamente la cáscara de la cebolla morada se obtiene un rendimiento mucho mayor de colorante en comparación con el uso de la cebolla entera, también se obtiene un menor costo ya que es un subproducto que generalmente se desecha, su aprovechamiento para la extracción de colorante representa una alternativa económica y sostenible, ya que evita el desperdicio de un recurso natural. Por último, ayuda a producir un menor impacto ambiental porque los colorantes naturales obtenidos a partir de la cáscara de la cebolla morada son biodegradables y no generan los mismos problemas ambientales que los colorantes sintéticos.

2.2 Selección del método para la extracción

Luego de ver el cuadro donde se presentan las ventajas y desventajas de cada método para el proceso de extracción, también hay otros factores como ser la viabilidad de cada método, la extracción con equipo Soxhlet, arrastre con vapor y la maceración dinámica con reflujo son viables, en cambio, el método de extracción con fluidos supercríticos no es viable, porque tiene un elevado costo, además que la universidad no cuenta con el equipo necesario para su aplicación.

Con los equipos que se cuenta en el LOU se puede realizar la extracción por maceración dinámica con reflujo, equipo Soxhlet y por arrastre con vapor. Pero tomando en cuenta que el método de arrastre con vapor es utilizado para la extracción de aceites esenciales en general, por tal motivo no es tan aplicable para la extracción del colorante natural.

Para la selección del método para realizar la extracción se toman en cuenta ciertos factores, los cuales son:

Tabla II-1: Factores a evaluar para la selección del método

Factor Evaluado	Descripción	Ponderación (%)
Aplicabilidad del proceso	Si la extracción del colorante se puede realizar de manera óptima.	25
Tiempo de extracción	La extracción debe aplicarse en el menor tiempo.	30
Eficiencia	Alta eficacia en la extracción del colorante.	25
Costos	Los costos deben ser bajos.	20

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla II-2: Escala de puntaje a emplear

Puntaje Aplicado (PA) 1-5				
1	2	3	4	5
No aplicable	Muy poco aplicable	Poco aplicable	Moderadamente aplicable	Aplicable, muy bueno.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla II-3: Cuadro de selección del método de extracción

Factor evaluado		Extracción con equipo Soxhlet			Extracción maceración dinámica con reflujo		
		Descripción	PA	Ponderación	Descripción	PA	Ponderación
Aplicabilidad del proceso	2,5	Bueno	4	10	Muy bueno	5	12,5
Tiempo de extracción	3	Regular	3	9	Óptimo	5	15
Eficiencia	2,5	Menor	3	7,5	Mayor	5	12,5
Costo	2	Bajo	4	8	Alto	3	6
Total				34,5			46

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Considerando cada factor tomando en cuenta para la evaluación en la selección del método para la extracción del colorante a partir de la cebolla morada, la opción más conveniente a utilizar es la extracción por maceración dinámica con reflujo.

2.3 Descripción del método de investigación

La metodología a ser empleada para la “Obtención del colorante natural a partir de la cebolla morada” es por extracción sólido-líquido, esta es una operación unitaria que se basa en la disolución ya sea de uno o más componentes de una muestra sólida, estando en contacto con un disolvente líquido. En este método se concentra el solvente y se recuperan los productos deseados, pero para ello debe existir contacto superficial directo entre ambas fases.

El equipo de extracción con maceración dinámica con reflujo seleccionado para este trabajo de investigación, con ayuda de la parte experimental y el diseño factorial planteado para determinar las variables de control más importantes en el proceso de extracción, la presente investigación brinda una alternativa para el aprovechamiento de

estos residuos que en este caso es la cáscara de la cebolla morada para la extracción del colorante.

El diseño experimental depende de nuestro propósito de investigación. No existe un modelo específico a seguir, sin embargo, la adecuación de modelos existentes según los criterios y las decisiones que se tome para dicha investigación.

2.4 Diseño Experimental

El diseño de la investigación experimental se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Es un diseño donde se observa el efecto causado por la variable independiente sobre la variable dependiente.

Con este diseño experimental se pretende determinar las variables correspondientes para la obtención de un alto rendimiento de extracción del colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada.

2.5 Diseño Factorial

El diseño factorial utilizado en la presente investigación para la extracción del colorante natural a partir de la cebolla morada por medio del método sólido-líquido en el equipo de maceración dinámica con reflujo, tomando en cuenta los factores se tiene un diseño 2^3 , donde 2 son los niveles y 3 factores.

2.5.1 Factores

2.5.1.1 Temperatura

Los estudios realizados reportan valores de temperaturas desde los 50°C hasta los 90°C para la extracción del colorante natural a partir de la cáscara de cebolla morada por lo que se considera temperaturas dentro de ese rango.

2.5.1.2 Relación soluto: solvente

La relación entre soluto solvente, es una variable que permite conocer la cantidad de flavonoides extraídos a diferentes cantidades de solvente con el fin de utilizar la cantidad óptima. Se utiliza según fuentes bibliográficas la relación de 1:20 y 1:25. (Terrones, 2018).

2.5.1.3 Tiempo de extracción

La variable tiempo relaciona la cantidad de flavonoide extraída a diferentes intervalos de tiempo de tal manera que se optimice las horas de trabajo, entre 60 y 90 min.

2.5.1.4 Niveles

Para determinar los niveles de los factores, se trabajó con 2 niveles, en cada nivel con 3 variables, se realizó combinación. Donde se muestra la codificación en el nivel 1, variables con numeración -1, y en el nivel 2 se muestra variables con numeración 1.

Tabla II-4: Niveles de los factores

Nivel	Relación soluto:solvente (g/ml)	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)
1	1:20	60	70
2	1:25	90	90

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla II-5: Codificación de las variables

Nivel	Relación soluto:solvente (g/ml)	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	-1
2	+1	+1	+1

Fuente: Elaboración propia, 2024

2.5.2 Variable respuesta

La variable de respuesta VR, es el rendimiento sobre la concentración de flavonoides después de la extracción en: mg/g. de concentrado del colorante / mg/g. de concentrado de la materia prima seca (dato teórico).

2.5.3 Número de combinaciones

Al ser el diseño factorial: $N^{\circ} \text{ variables} = 3$
 $N^{\circ} \text{ niveles} = 2$
 $N^{\circ} \text{ experiencias} = 2^3 = 8$

Se considera dos réplicas con el fin de obtener resultados significativos y válidos. El número de experimentos totales: $N^{\circ} \text{ exp} = 2^3 \times 2 = 16$

Los niveles son representados por (-1) y (+1) donde: (-1) representa el nivel bajo y (+1) el nivel alto de cada variable, la combinación de las variables o interacción se muestra en la tabla II-6.

Tabla II-6: Matriz de experimentos y plan de experimentos

Prueb a	Matriz de experimentos			Plan de Experimentación		
	Variabl e 1	Variabl e 2	Variabl e 3	Relación soluto:solvent e	Tiemp o (min)	Temperatur a (°C)
1	-1	-1	-1	1:20	60	70
2	+1	-1	-1	1:25	60	70
3	-1	+1	-1	1:20	90	70
4	+1	+1	-1	1:25	90	70
5	-1	-1	+1	1:20	60	90
6	+1	-1	+1	1:25	60	90
7	-1	+1	+1	1:20	90	90
8	+1	+1	+1	1:25	90	90

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla II-7: Codificación de los experimentos para la extracción del colorante natural

Número de experimentos	Relación soluto:solvente (g/ml)	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)	Rendimiento total (%)
1	-1	-1	-1	Y1
2	1	-1	-1	Y2
3	-1	1	-1	Y3
4	1	1	-1	Y4
5	-1	-1	1	Y5
6	1	-1	1	Y6
7	-1	1	1	Y7
8	1	1	1	Y8
9	-1	-1	-1	Y9
10	1	-1	-1	Y10
11	-1	1	-1	Y11
12	1	1	-1	Y12
13	-1	-1	1	Y13
14	1	-1	1	Y14
15	-1	1	1	Y15
16	1	1	1	Y16

RÉPLICA 1

RÉPLICA 2

Fuente: Elaboración propia, 2024

2.6 Equipos

Los equipos y materiales empleados durante el desarrollo de la parte experimental se describen a continuación:

2.6.1 Equipo de Maceración

Este equipo se utiliza para la extracción del colorante, tomando en cuenta el agitador magnético y los parámetros de variables de extracción, como la temperatura, el tiempo.

2.6.2 Estufa Tiro forzado

La estufa tiro forzado es utilizado una vez que la materia prima en este caso es la cáscara de cebolla sea previamente seleccionada, esto para reducir su porcentaje de humedad para luego llevarlo a moler. Se trabaja a una temperatura de 60 °C, en 7 horas de proceso en intervalos de 30 min, con el fin de formar la curva de secado.

2.6.3 Molino de Martillo

El Molino de martillo es utilizado cuando se quiere una molienda polvo fino, entonces la cascara de cebolla una vez secada es pasada a este Molino para obtener la materia prima en polvo fino para obtener partículas pequeñas y homogéneas, con esto se consigue un mejor contacto entre el soluto y el solvente.

2.6.4 Rota Evaporador

Este equipo se utilizó para evaporar el etanol de la mezcla con el extracto del colorante. se calibra la variable de 40 °C para la evaporación y obtener un colorante más concentrado. Este equipo opera a presión reducida, lo que baja el punto de ebullición del solvente, permitiendo la evaporación a temperaturas más bajas. Permite obtener muestras de alta calidad para su posterior análisis.

2.6.5 Balanza Analítica

La balanza analítica se utiliza para el pesaje de la muestra durante todo el proceso de la extracción del colorante natural a partir de la cascara de cebolla morada. Esta balanza consta de una pantalla digital y tiene una precisión de 0,001 gramos.

2.6.6 Espectrofotómetro UV-Vis

El espectrofotómetro se utiliza para el análisis químico que definió la concentración de la muestra de colorante natural en función de la longitud de onda obtenida en un barrido espectral. Esto permitió cuantificar cada análisis desarrollado para la determinación de flavonoides en el colorante natural.

2.7 Materiales de Laboratorio

Material de Laboratorio utilizado en la parte experimental, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II-7: Materiales de Laboratorio

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
Probeta	100 ml	1
Matraz Erlenmeyer	500 ml y 1000 ml	1
Embudo	Plástico 100 ml	1
Termómetro de mercurio	Vidrio	1
Pescaditos de imanes	Medianos	2
Papel filtro	Pliegue	2
Papel Aluminio	Rollo	1
Condensador	Vidrio	1

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.8 Reactivo de Extracción

Se utiliza etanol al 90 %; reactivo químico que cumple la función de solvente en la extracción del colorante natural de la cascara de la cebolla morada. El etanol (C_2H_6O) es un líquido incoloro y de color característico e inmiscible en el agua. En la tabla siguiente se muestra las especificaciones del solvente.

TablaII-8: Propiedades fisicoquímico del Etanol

Aspecto	Transparente e incoloro	Temperatura crítica	514 °K (241 °C)
Densidad	789 kg/ml, 0,789 g/ml	Presión crítica	63 atm
Masa Molar	46,07 g/mol	Viscosidad	1,074 mPa*s a 20 °C
Punto de ebullición	351,6 °K (78 °C)	Acidez	15,9 pKa
Punto de fusión	158,9 (-114 °C)	Solubilidad en agua	Miscible

Fuente: Elaboración Propia, 2024

En la tabla III-8 se muestra las propiedades fisicoquímicas del etanol (C_2H_6O), el cual gracias a estas propiedades es capaz de interactuar con los pigmentos de la cáscara de la cebolla morada y disolverlos de manera efectiva. Esta capacidad, junto con su seguridad y facilidad de uso, lo convierten en un solvente ideal para la extracción del colorante natural.

2.9 Proceso de extracción de colorante natural de la cáscara de la cebolla morada

Figura 2-1: Proceso de Extracción del colorante natural



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.9.1 Recolección de la materia prima

La cáscara de cebolla es recolectada directamente del mercado Campesino, esta cebolla proviene de la comunidad “El Puente” que se encuentra en el departamento de Tarija. Se seleccionaron aquellas con un color púrpura intenso y sin signos de deterioro, como manchas o moho. Las cáscaras fueron separadas de las cebollas y almacenadas en bolsas en un lugar fresco y oscuro para su mejor conservación.

Figura 2-2: Recolección de la materia prima para la extracción del colorante natural



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9.2 Caracterización de la materia prima

Las cascaras de cebolla morada utilizadas fueron las que se encontraban en buen estado y de color púrpura intenso.

Para caracterizar a la materia prima se determinaron parámetros como ser: Ceniza, Fibra y Humedad, los cuales se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

2.9.3 Acondicionamiento

2.9.3.1 Selección y separación de la cascara de la cebolla morada

Se seleccionará las cáscaras que se encuentren en buen estado y se separará de cualquier resto con la que este combinada (paja, tierra, etc.)

2.9.3.2 Limpieza de las cáscaras de cebolla seleccionadas

Las cáscaras de las cebollas seleccionadas se deberán limpiar con papel para eliminar las impurezas externas.

Figura 2:3 Selección de la materia prima para la extracción del colorante natural



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9.4 Secado

Después de la selección y limpieza, se realizó el secado de las cáscaras de cebolla. Se utilizó el secador de laboratorio de tiro forzado a una temperatura de 60 °C para lograr eliminar cualquier presencia de humedad, sin alterar al producto.

Figura 2-4: Secado de la materia prima para la extracción del colorante natural



Fuente: Elaboración Propio, 2024.

2.9.5 Molienda

Se realizó la molienda de la materia prima seca, utilizando un molino de martillo. la cáscara de cebolla se molió hasta obtener polvo fino y uniforme, esto ayudará a aumentar la superficie de contacto entre la cáscara y el solvente que se utilizará posteriormente para extraer el colorante.

Figura 2-5: Molienda de la cáscara de cebolla morada seca



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9.6 Extracción

Se utilizó el método de maceración dinámica con reflujo. La relación materia prima-solvente fue de 1:25 y 1:20. Se debe colocar 10 gramos de la cáscara de cebolla morada molida en un matraz Erlenmeyer de 1 L. Luego se calentó entre 70 °C y 90 °C, en un tiempo de 60 min y 90 min, con un volumen de 200 ml y 250 ml de Etanol al 90°. También la agitación de la solución soluto-solvente se debe realizar a una velocidad de 100 rpm protegiendo de la luz con papel aluminio, para evitar la degradación del colorante.

Figura 2-6: Extracción del colorante natural de la cáscara de la cebolla morada



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9.7 Filtración

Luego del proceso de extracción se procede a filtrar el extracto del colorante de la cáscara de la cebolla morada, esto se realizó utilizando un equipo de filtración al vacío y papel filtro por un tiempo de 20 minutos, con este procedimiento se logra separar el sólido del líquido.

Figura 2-7: Filtración del extracto del colorante natural



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9.8 Concentración

La concentración del extracto se realiza en un Rota Vapor, en este proceso se realizó la evaporación del solvente, en nuestro caso el etanol de la mezcla líquida, es aconsejable que el solvente recibido sea 6 veces el volumen del extracto para poder parar la concentración, en este caso se concentra hasta 30 ml, los parámetros de control son: Temperatura baño María: 45 °C, RPM: 120 y presión de vacío de 78 kPa.

Figura 2-8: Concentración del extracto concentrado del colorante natural



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

El sistema consiste en un baño maría y un sistema de rotación del matraz de evaporación. También está adaptada una bomba de vacío lo que permite reducir la presión del sistema, permitiendo que el etanol sea separado del extracto a una baja temperatura sin tener que llegar a la temperatura de ebullición. Se recolecta el destilado en el matraz colector.

2.9.9 Almacenamiento

El extracto concentrado extraído de la concentración se debe almacenar en botellas de vidrio color ámbar, almacenado a 4 °C, esto debido a su sensibilidad a la luz y se mantiene refrigerado para una mejor conservación.

Figura 2-9: Almacenamiento del extracto concentrado del colorante natural



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.10 Pruebas Cualitativas de Identificación de Flavonoides

Para la identificación de flavonoides, se utilizó 2 pruebas cualitativas para observar la coloración.

2.10.1 Prueba de Shinoda Zn/HCl

Para esta prueba se agregó 5 ml del extracto concentrado en un tubo de ensayo, con una lámina de Zinc (aproximadamente 1g.) y 1 ml de ácido clorhídrico al 2%, se agita suavemente el tubo de ensayo para mezclar los reactivos y se observa si se produce un cambio de color.

Figura 2-10: Materiales para realizar la prueba cualitativa Zn/HCl



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.10.2 Prueba con Hidróxido de Sodio al 5%

Se debe colocar 5 ml del extracto concentrado en un tubo de ensayo, agregar 1 ml de NaOH al 5%, agitar suavemente y observar cuidadosamente cualquier cambio de color.

Figura 2-11: Materiales para realizar la prueba cualitativa con NaOH 5%



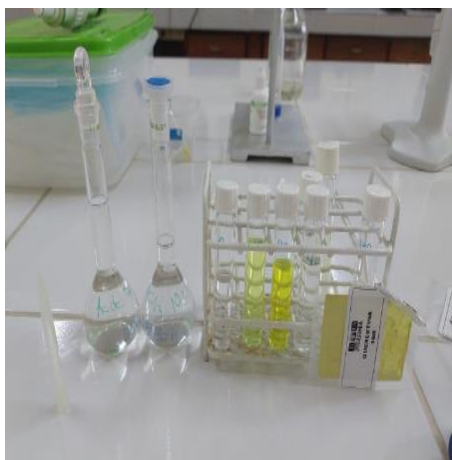
Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.11 Prueba Cuantitativa de Flavonoides por Espectrofotometría

2.11.1 Preparación de Curva de Calibración

- Pesar 10 mg de quercetina y se disolvió en un tubo de ensayo de 10 ml con Etanol al 96°
- Tomar alícuotas de la solución madre de 100 μL ; 200 μL ; 400 μL ; 430 μL y 470 μL para la preparación de cinco soluciones estándares a concentraciones 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 43 ppm, 47 ppm respectivamente en tubos de ensayo.
- Luego agregar 200 μL de acetato de sodio trihidratado 1 M y 200 μL de cloruro de aluminio 10% y completar con etanol al 96° al volumen de 10 ml.
- Previamente se realizó un barrido espectral para saber a qué longitud de onda se encuentra la absorbancia máxima.
- Finalmente leer a 427 nm en el espectrofotómetro UV- Visible después de 40 min de reposo.

Figura 2-12: Preparación de la curva de calibración

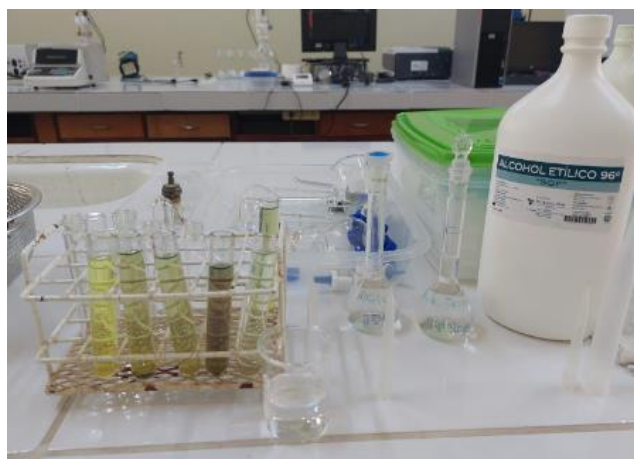


Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.11.2 Preparación del Extracto

- Tomar 0,1 ml del extracto y agregar 200 μ L de acetato de sodio trihidratado 1 M y 200 μ L de cloruro de aluminio en un tubo de ensayo.
- Completar con 9,5 ml de Etanol al 96°.
- Dejar en reposo 40 min y luego leer la concentración en el espectrofotómetro UV-visible.

Figura 2-13: Preparación del Extracto conc. de la cáscara de la cebolla morada



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.11.3 Preparación del Blanco

- Agregar 200 μL de acetato de sodio trihidratado 1 M y 200 μL de cloruro de aluminio 10% en un tubo de ensayo.
- Completar con 9,6 ml de Etanol al 96° para completar un volumen de 10 ml.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis proximal de la materia prima

Los análisis físico-químicos se realizaron en los Laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. (ver ANEXO A)

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; cáscara de la cebolla morada, en el cual comprenden la determinación de humedad, cenizas y fibra.

3.2 Resultados de los análisis de la materia prima

Los resultados del análisis proximal de la materia prima; cáscara de la cebolla morada, se muestran en la tabla III-1 siguiente:

Tabla III-1: Resultados análisis proximales Materia Prima: Cáscara cebolla morada

PARÁMETRO	COMPOSICIÓN %
Cenizas	10.06
Fibra	25.47
Humedad	10.09

Fuente: CEANID, 2024.

El análisis proximal de la cáscara de la cebolla morada reveló un alto contenido de fibra (25,47 %) y cenizas (10,06 %), lo que sugiere una fuente potencial de fibra y minerales que aportaran en el rendimiento del colorante extraído, como también en la estabilidad del mismo, el contenido de humedad (10,09%) indica un bajo nivel de agua en la materia prima.

3.3 Resultados del proceso de extracción

Para el proceso de la extracción del colorante natural de la cáscara de la cebolla morada se trabajó en una sola etapa, se realizó en un tiempo entre 60 min y 90 min a

temperaturas de 70 °C y 90 °C, la relación de materia prima y solvente fue de: 1:20 (10 g: 200 ml) y 1:25 (10 g: 250 ml).

3.3.1 Datos experimentales del proceso de extracción

Tabla III-2: Datos experimentales de la extracción del colorante en el 1er análisis

* Exp.	Masa de Cáscara de cebolla morada (g)	ml de Solvente: Etanol 90°	Relación materia prima: solvente g/ml	Tiempo de extracción (min)	Temperatura °C	Concentración (mg/ml)
Y1	10.001	200	1:20	60	70	1,80
Y2	10.001	250	1:25	60	70	2,33
Y3	10.003	200	1:20	90	70	3,07
Y4	10.002	250	1:25	90	70	3,21
Y5	10.001	200	1:20	60	90	3,72
Y6	10.002	250	1:25	60	90	4,13
Y7	10.001	200	1:20	90	90	4,38
Y8	10.001	250	1:25	90	90	4,52

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la primera tabla de resultados se puede observar que en la prueba número 8, se obtuvo una mayor concentración de pigmentos de la extracción del colorante a partir de la cáscara de la cebolla morada. Estos resultados fueron obtenidos en la lectura con el espectrofotómetro UV.

Tabla III-3: Datos experimentales de la extracción del colorante en el 2do análisis

* Exp.	Masa de Cáscara de cebolla morada (g)	ml de Solvente: Etanol 90°	Relación materia prima: solvente g/ml	Tiempo de extracción (min)	Temperatura °C	Concentración (mg/ml)
Y1	10.001	200	1:20	60	70	1,99
Y2	10.001	250	1:25	60	70	2,71
Y3	10.003	200	1:20	90	70	3,05
Y4	10.002	250	1:25	90	70	3,18
Y5	10.001	200	1:20	60	90	3,72
Y6	10.002	250	1:25	60	90	4,19
Y7	10.001	200	1:20	90	90	4,41
Y8	10.003	250	1:25	90	90	4,61

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Posterior se realizó una réplica con el objetivo de validar los resultados, donde se obtuvo también una mayor concentración en la prueba número 8, entonces los valores obtenidos son muy próximos y significativos.

3.4 Rendimiento del colorante obtenido a partir de la cáscara de la cebolla morada

Para obtener el rendimiento se debe expresar las concentraciones de flavonoides a mg/g obtenidas en la lectura con el espectrofotómetro UV.

- Datos

- a) Cantidad de cáscara de cebolla morada molida: 10,001 g
- b) Volumen de mezcla de solvente utilizado para el experimento: 250 ml

Determinamos así las concentraciones en las unidades requeridas mg/g.

$$\frac{mg_{flavonoides}}{g_{cebolla}} = \frac{4,52 \text{ mg}}{ml} \times \frac{250 \text{ ml}}{10,001} = 112,98 \text{ mg/g}$$

Se determinó el rendimiento extraído del concentrado de la cáscara de la cebolla morada:

$$\%R = \frac{\text{Concentrado de extracto } (\frac{mg}{g})}{\text{Concentrado de cáscara de cebolla morada } (\frac{mg}{g})} \times 100$$

- **Concentración de cáscara de cebolla morada (*Allium cepa* L.) seca:**

La concentración es 150,9 mg/g de flavonoides totales por cada gramo de cáscara de cebolla molida. (Laboratorio de Farmacia y Bioquímica – Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM))

$$\%R = \frac{112,98 (\frac{mg}{g})}{150,9 (\frac{mg}{g})} \times 100 = 74,86\%$$

Se calculó el rendimiento para todos los experimentos realizados, para determinar el mayor rendimiento de flavonoides en el extracto concentrado de cáscara de cebolla morada.

Tabla III-4: Rendimiento del colorante obtenido en el 1er análisis

* Exp.	Masa de Cáscara de cebolla morada (g)	ml de Solvente: Etanol 90°	Concentración (mg/ml)	Concentración (mg/g)	Rendimiento (%)
Y1	10,001	200	1,80	36,00	23,85
Y2	10,001	250	2,33	58,24	38,60
Y3	10,003	200	3,07	61,38	40,68
Y4	10,002	250	3,21	80,23	53,17
Y5	10,001	200	3,72	74,39	49,30
Y6	10,002	250	4,13	103,23	68,41
Y7	10,002	200	4,38	87,58	58,04
Y8	10,001	250	4,52	112,98	74,86

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

En la primera tabla de resultados se puede observar que se obtuvo un mejor rendimiento en la prueba número 8, en la cual se trabaja con los niveles máximos del proceso.

El experimento número 8, utilizando 250 ml de etanol al 90 %, un tiempo de extracción de 90 min y una temperatura de 90 °C, resultó en el mayor rendimiento del colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada.

Tabla III-5: Rendimiento del colorante obtenido en el 2do análisis

* Exp.	Masa de Cáscara de cebolla morada (g)	ml de Solvente: Etanol 90°	Concentración (mg/L)	Concentración (mg/g)	Rendimiento (%)
Y1	10,001	200	1,99	39,80	26,37
Y2	10,001	250	2,71	67,74	44,89
Y3	10,003	200	3,05	60,98	40,41
Y4	10,002	250	3,18	79,48	52,67
Y5	10,001	200	3,72	74,39	49,30
Y6	10,002	250	4,19	104,73	69,40
Y7	10,002	200	4,41	88,18	58,44
Y8	10,003	250	4,61	112,72	76,35

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Posterior en la réplica también se obtuvo un mejor rendimiento en la prueba número 8, donde los valores obtenidos son muy próximos y significativos.

3.5 Diseño Factorial

Para valorar los resultados del diseño factorial se usarán los datos recolectados y un programa de análisis estadístico.

3.5.1 Análisis estadístico del diseño factorial en el proceso de extracción por maceración dinámica con reflujo

Los datos recopilados fueron analizados utilizando el programa IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 29.0; el cual permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera los resultados más significativos y confiables. Con el análisis de varianza ANOVA se determina el

impacto o influencia de los factores; relación soluto-solvente, tiempo, temperatura y sus respectivas interacciones sobre la variable repuesta. En la tabla III-6, se muestran los datos introducidos al programa de acuerdo al diseño factorial planteado.

Tabla III-6: Matriz de diseño experimental en la etapa de Extracción

Rel s-s	tiempo	Temperatura	%R
-1	-1	-1	23,85
1	-1	-1	38,60
-1	1	-1	40,68
1	1	-1	53,17
-1	-1	1	49,30
1	-1	1	68,41
-1	1	1	58,04
1	1	1	74,86
-1	-1	-1	26,37
1	-1	-1	44,89
-1	1	-1	40,41
1	1	-1	52,67
-1	-1	1	49,30
1	-1	1	69,40
-1	1	1	58,44
1	1	1	76,35

Fuente: Elaboración Propia SPSS 29.0, 2024.

En la tabla III-7, se puede observar el análisis de varianza para la variable dependiente o variable repuesta de Rendimiento, tomando en cuenta los factores del proceso; relación soluto-solvente, tiempo y temperatura de extracción, así como sus interacciones.

Tabla III-7: Análisis de Varianza ANOVA en la etapa de extracción

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3694,692 ^a	6	615,782	214,650	0,000
Intersección	42512,254	1	42512,254	14819,000	0,000
Relss	1088,340	1	1088,340	379,376	0,000
Tiempo	446,266	1	446,266	155,560	0,000
Temperatura	2103,598	1	2103,598	733,276	0,000
relss * tiempo	10,563	1	10,563	3,682	0,087
relss * Temperatura	15,840	1	15,840	5,522	0,043
tiempo * Temperatura	30,085	1	30,085	10,487	0,010
Error	25,819	9	2,869		
Total	46232,765	16			
Total corregido	3720,511	15			
a. R al cuadrado = ,993 (R al cuadrado ajustada = ,988)					

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

Donde:

Relss: Relación soluto-solvente

Las variables más significativas son las que poseen un nivel de confianza de 95%, o que es lo mismo, cuando los valores de significancia son menores 0,05.

Se puede observar que las iteraciones de Relación soluto-solvente*tiempo, tiene un nivel de significancia mayor a 0,05, por lo tanto, quedan descartadas ya que no cumplen con el requisito de significancia.

Según el análisis de varianza, se puede verificar que a un nivel de significancia 5% las variables; relación soluto-solvente, tiempo, temperatura, relación soluto-solvente*temperatura y tiempo*temperatura, cumplen con el requisito, es decir, que sea menor al 0,05.

3.5.2 Análisis de regresión lineal en la etapa de extracción

Establecido lo anterior, se procede a realizar la regresión lineal, el cual establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta, en la tabla se muestran los resultados de los coeficientes del modelo de la regresión lineal.

Tabla III-8: Resumen del Modelo Matemático

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,995 ^a	0,990	0,985	1,90739
a. Predictores: (Constante), tiempoTemperatura, relssTemperatura, Temperatura, tiempo, relss				
b. Variable dependiente: Rendimiento				

Fuente: Elaboración Propia SPSS 29.0, 2024.

El análisis de varianza (ANOVA) en la tabla muestra un nivel de significación que tiende a cero, demostrando que el modelo matemático escogido es correcto.

Tabla III-9 ANOVA Datos y Resultados Obtenidos Aplicando Regresión Lineal en el proceso de Extracción

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3684,130	5	736,826	202,528	,000 ^b
	Residuo	36,381	10	3,638		
	Total	3720,511	15			
a. Variable dependiente: Rendimiento						
b. Predictores: (Constante), tiempoTemperatura, relssTemperatura, Temperatura, tiempo, relss						

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

Tabla III-10: Coeficiente del Modelo

Coeficientes ^a								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	51,546	0,477		108,098	0,000	50,484	52,609
	Relss	8,248	0,477	0,541	17,296	0,000	7,185	9,310
	Tiempo	5,281	0,477	0,346	11,075	0,000	4,219	6,344
	Temperatura	11,466	0,477	0,752	24,046	0,000	10,404	12,529
	RelssTemperatura	0,995	0,477	0,065	2,087	0,063	-0,067	2,057
	tiempoTemperatura	-1,371	0,477	-0,090	-2,876	0,017	-2,434	-0,309
a. Variable dependiente: Rendimiento								

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

Los resultados de la tabla establecen los coeficientes de los efectos en el modelo, no obstante, el nivel de significancia de la interacción factor relación soluto-solvente*temperatura es mayor a 0.05 por lo que se realiza nuevamente la regresión eliminando esta variable.

Tabla III-11: Coeficiente del Modelo Modificado

Coeficientes ^a								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	51,546	0,545		94,630	0,000	50,347	52,745
	Relss	8,248	0,545	0,541	15,141	0,000	7,049	9,446
	Tiempo	5,281	0,545	0,346	9,695	0,000	4,082	6,480
	Temperatura	11,466	0,545	0,752	21,050	0,000	10,267	12,665
	tiempoTemperatura	-1,371	0,545	-0,090	-2,517	0,029	-2,570	-0,172
a. Variable dependiente: Rendimiento								

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

Los resultados de la tabla, establecen los coeficientes de los efectos en el modelo, en la cual todas las variables muestran un nivel de significancia por debajo del 0.05 entonces son aceptables, así que el modelo resulta en:

$$\%R = 51,546 + 8,248 \text{Rel S-S} + 5,178t + 11,466T - 1,371t*T$$

Donde:

Rel S-S: Relación solute-solvente

t= Tiempo

T= Temperatura

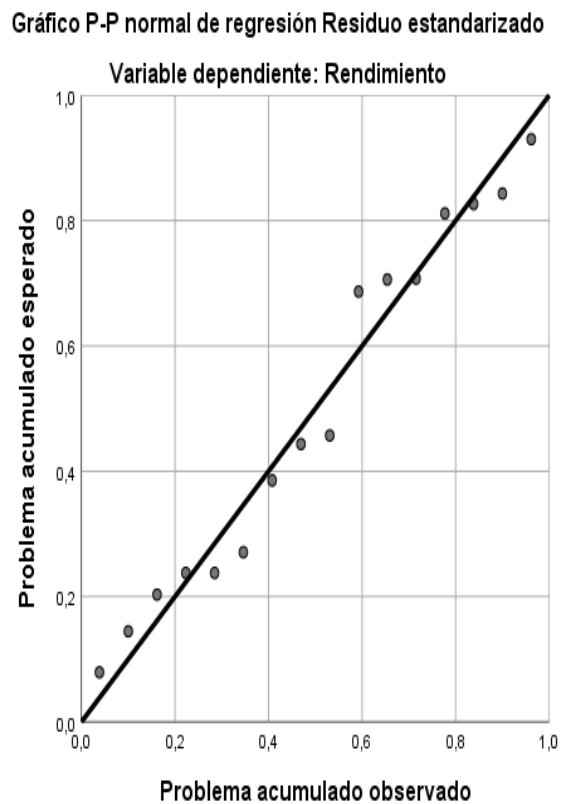
t*T= tiempo- Temperatura

A partir de esta ecuación se puede enunciar que, a mayor relación soluto-solvente, mayor temperatura y tiempo, mayor es el porcentaje de rendimiento, ya que utilizando una mayor cantidad de solvente en relación con la cantidad de soluto permite una mejor dilución de los pigmentos extraídos sin la saturación del solvente, también aumentando la temperatura y tiempo se optimiza la extracción del colorante de la cáscara de cebolla

morada, obteniendo un mayor rendimiento. Sin embargo, la iteración negativa entre tiempo y temperatura indica que este aumento podría ser menos pronunciados en ciertas condiciones, es decir, el exceso de estos puede tener efectos negativos en la calidad del extracto.

En la figura se puede observar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos no se ajustan al modelo, sin embargo, según el análisis realizado ANOVA no muestran significancia en el desajuste, motivo por el cual el modelo escogido es correcto.

Figura 3-1: Modelo Lineal



Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

Según el modelo lineal; se obtiene un nuevo rendimiento, recibe el nombre de rendimiento calculado, el que a continuación se gráfica junto al rendimiento observado

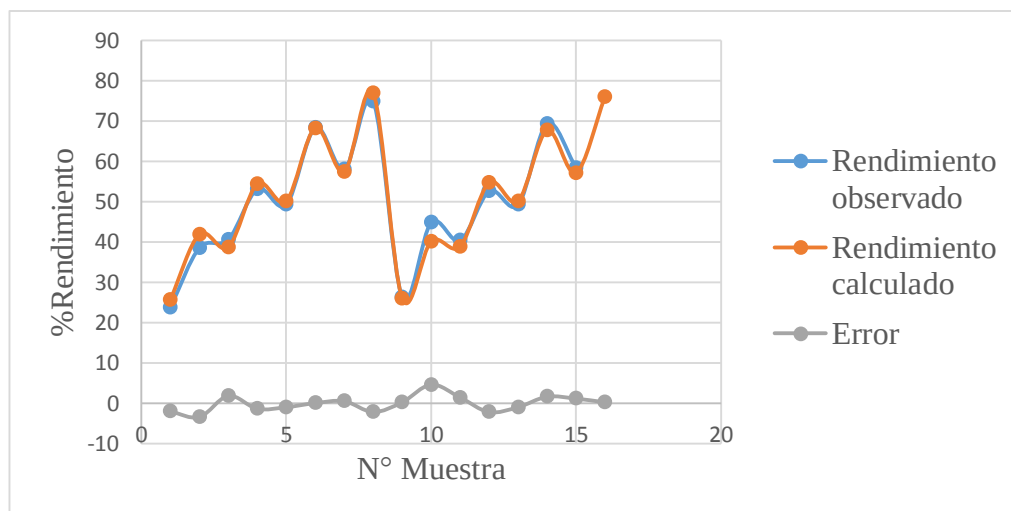
que fue obtenido en cada experimento, para poder verificar el ajuste de la ecuación al modelo matemático.

Tabla III- 12: Comparación del Rendimiento observado y % de rendimiento calculado del modelo

*Exp	%Rendimiento observado	%Rendimiento calculado	Error
1	23,85	25,78	-1,93
2	38,60	41,93	-3,33
3	40,68	38,76	1,92
4	53,17	54,47	-1,30
5	49,30	50,20	-0,90
6	68,41	68,31	0,10
7	58,04	57,46	0,58
8	74,86	76,95	-2,09
9	26,37	26,06	0,31
10	44,89	40,21	4,68
11	40,41	38,92	1,49
12	52,67	54,77	-2,10
13	49,30	50,20	-0,90
14	69,40	67,71	1,69
15	58,44	57,22	1,22
16	76,35	76,05	0,30

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

Figura 3-2: Comparación gráfica del %Rendimiento de extracción observado y el % Rendimiento de extracción calculado



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.6 Resultado de análisis cuantitativo al Extracto concentrado de la cáscara de cebolla morada

3.6.1 Barrido espectral

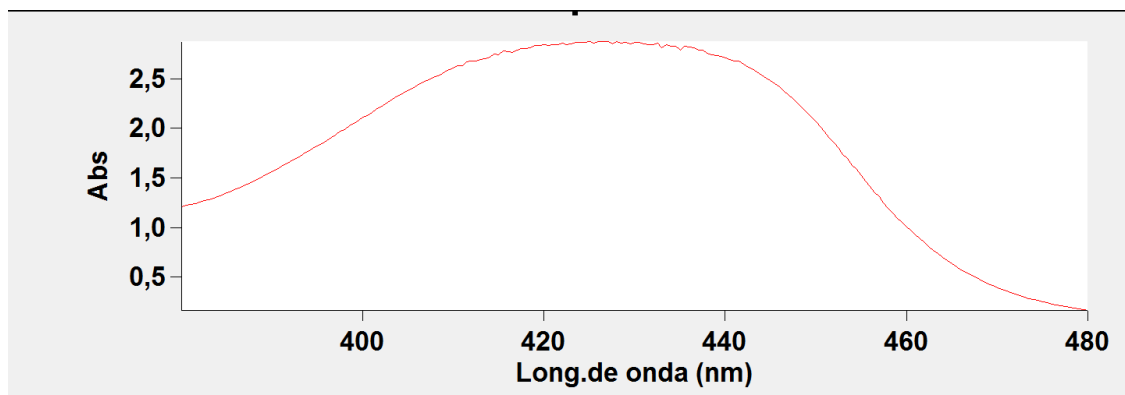
Para garantizar la exactitud y sensibilidad en la determinación cuantitativa de la quercetina mediante espectrofotometría, se llevó a cabo un barrido espectral. Este procedimiento permitió identificar la longitud de onda correspondiente al máximo de absorción de la quercetina. Al seleccionar esta longitud de onda específica para construir la curva de calibración, se optimizan las condiciones de medición, asegurando así la mayor sensibilidad y precisión en la determinación cuantitativa de la quercetina en muestras desconocidas.

Al realizar el barrido espectral, se identificó que la quercetina absorbe la luz de manera más intensa a una longitud de onda de 427 nm, encontrándose el pico de absorbancia máximo.

Tabla III-13: Resultados del Barrido espectral

Long.de onda (nm)	Abs
435,5	2,834
433,5	2,846
432,5	2,863
430,5	2,870
428,0	2,875
427,0	2,877
425,0	2,873
422,0	2,864

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Figura 3-3: Gráfico de los resultados del barrido espectral

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.6.2 Curva de calibración para la cuantificación del extracto de colorante de la cáscara de la cebolla morada

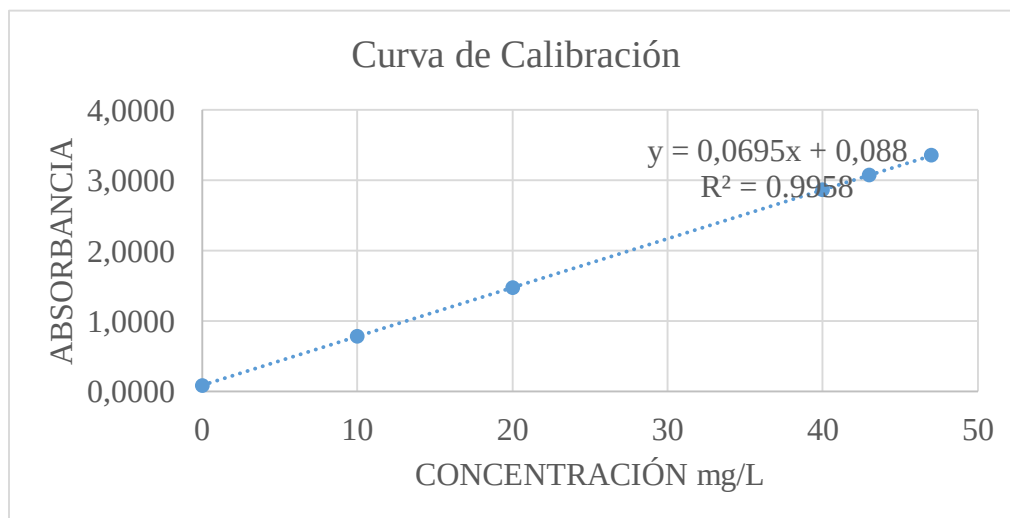
Una vez finalizado el barrido espectral, se procedió a construir la curva de calibración empleando quercetina como estándar, con el objetivo de cuantificar el colorante presente en la cáscara de la cebolla morada. Para esto en el capítulo II punto 2.11 se prepararon las soluciones de quercetina a determinadas concentraciones, las cuales se dio a conocer sus lecturas en el espectrofotómetro.

Tabla III-14: Resultados de la curva de calibración

Concentración mg/l	Absorbancia
0	0,0880
10	0,7827
20	1,4774
40	2,8668
43	3,0752
47	3,3531

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Figura 3-4: Curva de calibración Quercetina



Fuente: Elaboración propia, 2024.

De la figura 3-4 se observa que se construyó la gráfica de la curva de calibración obteniendo una ecuación lineal que relaciona la absorbancia con la concentración, además se obtiene el coeficiente de aproximación lineal “ R^2 ” para la curva es de 0.9958, lo que demuestra que el modelo lineal se ajusta perfectamente a los datos experimentales.

3.7 Resultado de la caracterización del color del extracto concentrado de la cáscara de cebolla morada

La notación Munsell para el color consta de notaciones separadas para tono, valor y croma, que se combinan en ese orden para formar la designación del color. El símbolo para el tono es la abreviatura en letras del color del arco iris (R para rojo, YR para amarillo-rojo, Y para amarillo) precedida por números del 0 al 10. Dentro de cada rango de letras, el tono se vuelve más amarillo y menos rojo a medida que aumentan los números. (Munsell Soil Color Book, 2009).

Figura 3-5: Resultado de la caracterización de color del extracto



Fuente: Laboratorio de Suelos de Agronomía (UAJMS), 2024.

Se logró caracterizar el color del extracto concentrado de la cáscara de cebolla morada, el cual es 5R 2.5/6, describe un color rojizo moderadamente oscuro, es un color vivo similar a un tono de óxido o un rojo ladrillo.

3.8 Resultado de las pruebas espectrofotométricas

Se procede a realizar la lectura en el espectrómetro UV de los concentrados obtenidos de la extracción de la cáscara de la cebolla morada.

Tabla III-15: Resultados de la concentración de los extractos medido en el espectrofotómetro UV

*Exp	Concentración mg/ml
Y1	18,0
Y2	23,3
Y3	30,7
Y4	32,1
Y5	37,2
Y6	41,3
Y7	43,8
Y8	45,2
Y9	19,9
Y10	27,1
Y11	30,5
Y12	31,8
Y13	37,2
Y14	41,9
Y15	44,1
Y16	46,1

Fuente: Elaboración propia, 2024.

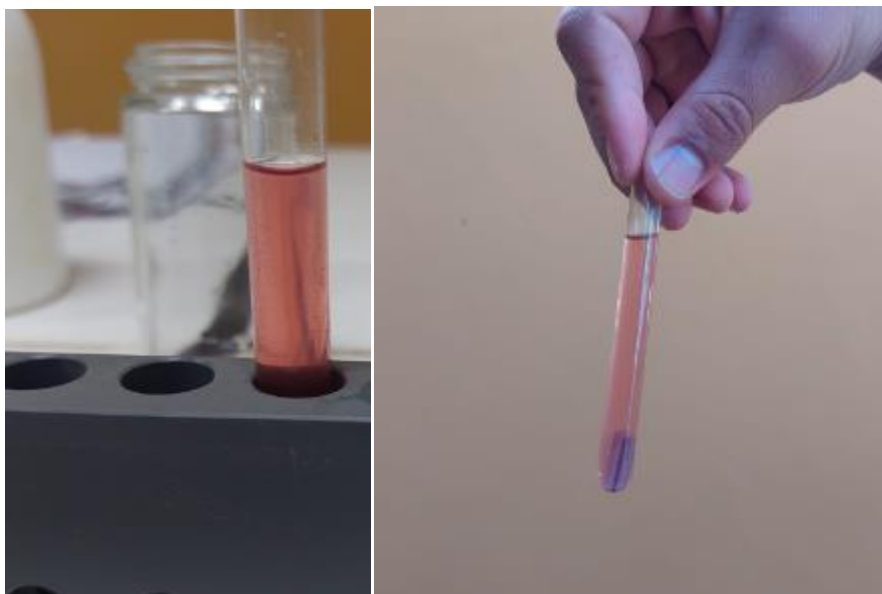
En la tabla III-13 se puede observar el resultado de la concentración expresada en mg/ml de cada experimento realizado. Estos valores son los que se utilizan para calcular el rendimiento del colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada.

3.9 Resultados de análisis cualitativo al producto colorante natural

3.9.1 Prueba de Shinoda con Zn/HCl

Los resultados obtenidos con esta prueba cualitativa son una coloración rosada suave, esta reacción positiva indica la presencia de flavonoides en nuestro extracto concentrado de la cáscara de la cebolla morada. La tonalidad de rosado débil corresponde a los flavonoles.

Figura 3-6: Resultados de la prueba cualitativa con Zn/HCl



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.9.2 Prueba con Hidróxido de Sodio al 5%

La prueba con NaOH al 5% generó una coloración amarilla característica, confirmando la presencia de flavonoides en la muestra. Los resultados sugieren la existencia de flavonoles, dando satisfactorias las pruebas.

Figura 3-7: Resultados de la prueba cualitativa con NaOH 5%



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.10 Resultado del análisis realizado al colorante obtenido

Se analizó el colorante natural extraído de cáscara de cebolla morada con el objetivo de caracterizar las propiedades fisicoquímicas del colorante. Estos análisis se realizaron en el Laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. (ver ANEXO E)

Tabla III-16: Resultados análisis del colorante obtenido

Parámetro	Resultado
Ph	3,79
Densidad relativa (g/ml)	0,8789
Solidos insolubles (g/100g)	0,75
Solidos solubles (°Brix)	27,0

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Los resultados obtenidos del análisis del colorante de cáscara de la cebolla morada revelan un perfil característico de esta clase de pigmentos naturales. El pH (3,79) es

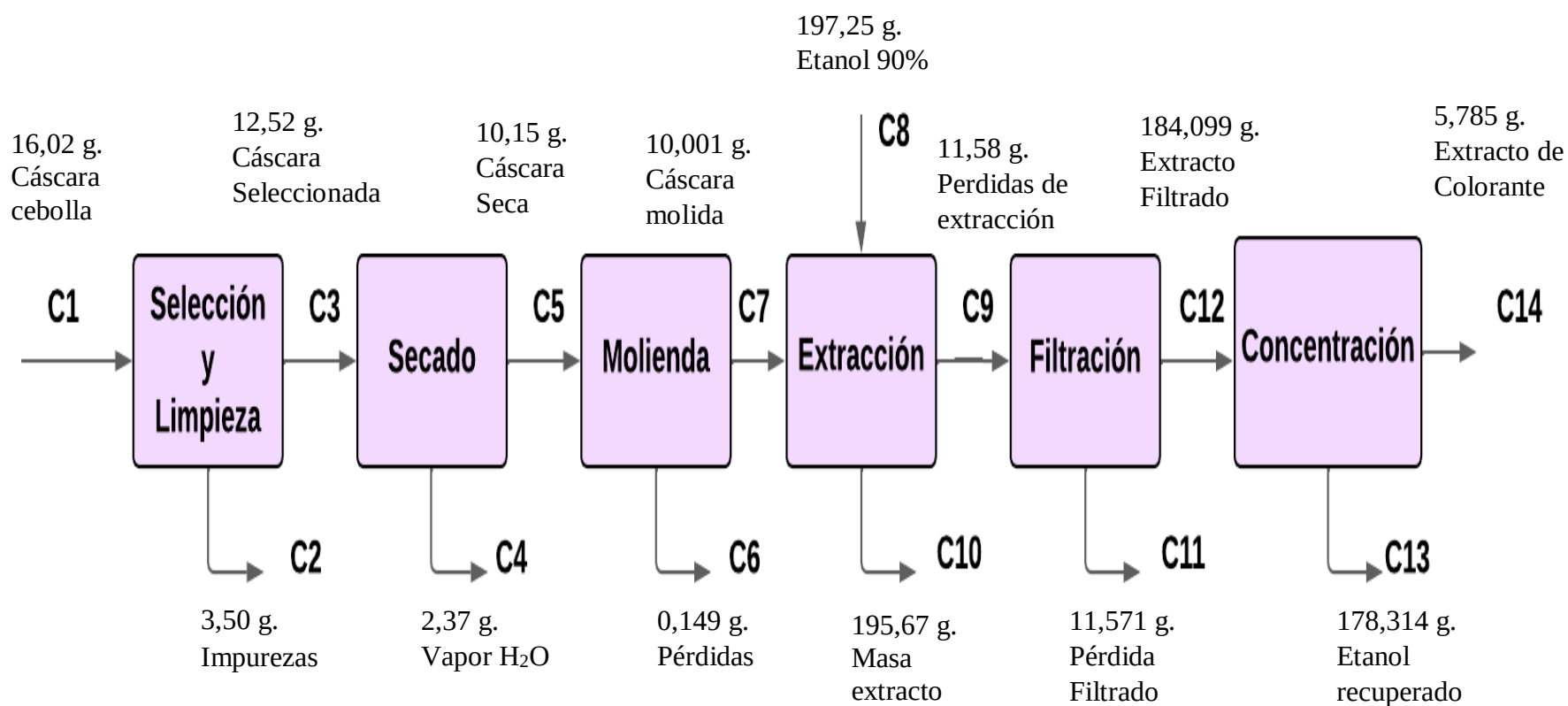
ácido, lo cual favorece la estabilidad del color. La densidad relativa (0,8789 g/ml) sugiere una solución acuosa relativamente diluida, aunque la presencia de sólidos solubles (27,0 °Brix) indica una concentración apreciable de compuestos fenólicos. El bajo contenido de sólidos insolubles confirma la eficiencia del proceso de extracción. Estos resultados indican un alto potencial para su uso del colorante obtenido en diferentes industrias.

3.11 Balance de Materia y Energía del proceso

El balance de materia proporciona datos sobre flujos intermedios y pérdidas en el proceso, ya sea por extracción, filtrado y/o molienda.

Para el balance de materia se realizó la extracción a partir de 16,02 gramos de la materia prima. Posterior, en el proceso de extracción por maceración dinámica con reflujo, se utilizó 10 gramos para cada experimento. El balance se realizó en el proceso de extracción en las condiciones más óptimas de rendimiento; a una relación de 1:25 soluto: solvente, 90 minutos y una temperatura de 90°C.

Figura 3-8: Diagrama de flujo del balance de materia general para la obtención de un colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.11.1 Balance de materia en la etapa de la Selección y Limpieza de la materia prima

En la primera etapa, se efectuó una separación de las impurezas presentes en la cáscara de la cebolla morada, con el fin de prevenir complicaciones en el proceso de extracción.

Balance General $C1 = C2 + C3$ Ec. 3.1

$C1 = 16,02$ g. materia prima (cáscara cebolla morada)

$C2 =$ Impurezas

$C3 = 12,52$ g. materia prima seleccionada y limpia

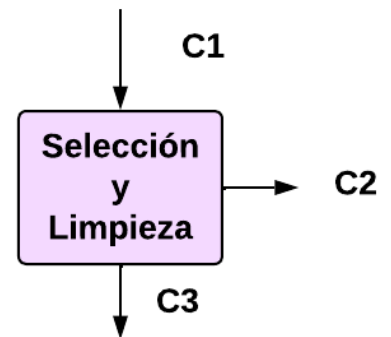
De la Ec. 3.1, se despeja $C2$, para determinar partículas de impureza.

$$C2 = C1 - C3$$

$$C2 = (16,02 - 12,52) \text{ g.}$$

$$C2 = 3,50 \text{ g. Impurezas}$$

Se tuvo un total de 3,50 g. de partículas extrañas de impurezas, con relación a la masa final de la materia prima.



3.11.2 Balance de Materia en la etapa de Secado

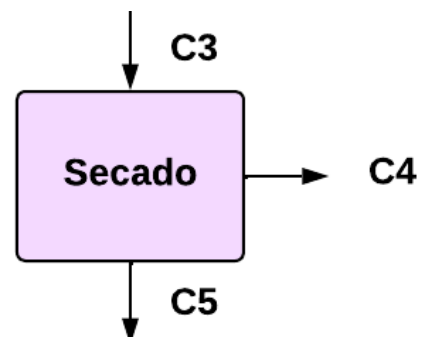
La cáscara de cebolla morada, al ser naturalmente baja en humedad, requirió un secado mínimo para alcanzar las condiciones ideales de molido. La materia prima inicial tiene una humedad inicial de 10,01 según análisis del CEANID.

$C3 = 12,52$ g materia prima seleccionada

$X3 = 0,1001$ %

$C5 = 10,15$ g materia prima seca

$X5 = 0,0435$ %



C4 = Vapor de Agua

$$\text{Balance General} \quad C3 = C4 + C5 \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$\text{Despejando } C4 \quad C4 = C3 - C5 \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$C4 = (12,52 - 10,15) \text{ g.}$$

$$C4 = 2,37 \text{ g. vapor de agua}$$

Se obtuvo una pequeña cantidad de vapor de agua 2,37 g, porque la cáscara de cebolla morada es de baja humedad y solo se tenía que llegar a una humedad final de 4% para tener una eficiencia en el molido.

3.11.3 Balance de Materia en la etapa de Molienda

Para el proceso de molienda, se utilizó la masa de semilla, la cual tiene un nivel óptimo de humedad requerido para el uso del molino de martillo, así evitar problemas de obstrucción y garantizar una molienda uniforme.

C5 = 10,15 g materia prima seca

C7 = 10,001 g materia prima molida

C6 = Pérdidas en el proceso

$$\text{Balance general} \quad C5 = C7 - C6 \quad \text{Ec. 3.4}$$

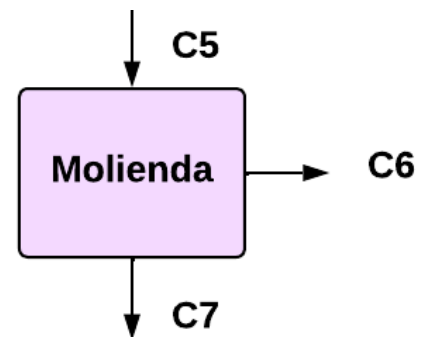
Despejando C6 de la ecuación 3.4

$$C6 = C5 - C7$$

$$C6 = 10,15 \text{ g.} - 10,001 \text{ g.}$$

$$C6 = 0,149 \text{ g pérdida}$$

Se obtuvo una pérdida en este proceso de 0.149 g. de materia prima.



3.11.4 Balance de Materia en la etapa de Extracción

Balance General:

$$C7 + C8 = C9 + C10 \text{ Ec. 3.5}$$

$C7 = 10,001 \text{ g material prima molida}$

$C8 = \text{Masa de alcohol } 90\% (v = 250 \text{ ml})$

$\rho = 0,789 \text{ g/ml C}_2\text{H}_5\text{OH } 90\%$

$$d = m / v \text{ Ec. 3.6}$$

Despejamos la masa de la Ec. 3.6

$$m = 0,789 \text{ g/ml} * 250 \text{ ml}$$

$$C8 = 197,25 \text{ g. C}_2\text{H}_5\text{OH } 90\%$$

El uso de etanol al 90% a una temperatura de 90°C favorece a la evaporación del solvente. Entonces existe una pérdida en la extracción.

$C9 = \text{Pérdida en la extracción}$

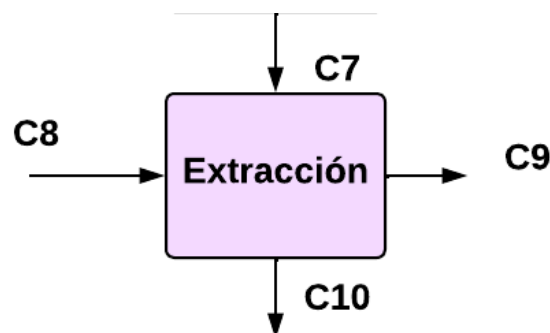
$C10 = 195,67 \text{ g masa del extracto.}$

Entonces de la Ec. 3.6, se tiene:

$$C9 = C7 + C8 - C10$$

$$C9 = 10,001 \text{ g} + 197,25 \text{ g} - 195,67$$

$$C9 = 11, 58 \text{ g pérdida C}_2\text{H}_5\text{OH } 90\%$$



La masa de salida en el proceso de extracción por maceración dinámica con reflujo se obtuvo 195,67 g de extracto heterogéneo (masa cáscara y solvente), además se obtuvo una pérdida del solvente de 11,58 g de $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ al 90% en el proceso.

3.11.5 Balance de materia en la etapa de Filtración

Balance General: $C10 = C11 + C12$ Ec. 3.7

$C10 = 195,67$ g masa del extracto.

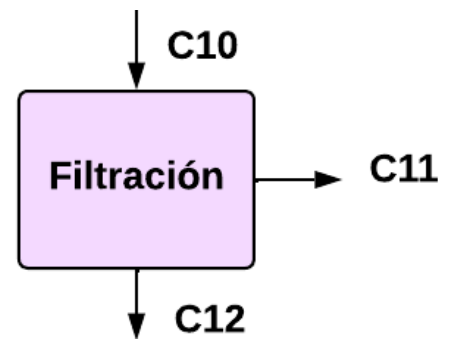
$C11 =$ Pérdida en la filtración

$C12 = V12 = 233$ ml extracto filtrado

Entonces:

$$C12 = m = 0,789 \text{ g/ml} * 233 \text{ ml}$$

$$C12 = 184,099 \text{ g. extracto filtrado}$$



Despejando $C11$ de Ec. 3.7

$$C11 = C10 - C12$$

$$C11 = 195,67 \text{ g.} - 184,099 \text{ g.}$$

$$C11 = 11,571 \text{ g pérdida en el filtrado}$$

Para corroborar la masa perdida en la filtración se tiene:

$$C11 = V \text{ ext. Conc.} * \rho \text{ ext. Conc.} \text{ Ec.3.8}$$

$$C11 = 2 \text{ ml} * 0,789 \text{ g/ml}$$

$$C11 = 1,57 \text{ g. masa de extracto perdido}$$

$$C11 \text{ total} = \text{masa materia prima} + \text{masa extracto perdido}$$

$$C11 \text{ total} = 10,001 \text{ g.} + 1,57 \text{ g.}$$

$$C11 \text{ total} = 11,571 \text{ g.}$$

Se confirmó 11,571 g de masa perdida por la corriente $C11$, incluyendo las dos partes masa de materia prima y masa de extracto. Siendo 1,57 g de masa de extracto perdido.

3.11.6 Balance de materia en la etapa de Concentrado

C12 = 184,099 g masa extracto filtrado

C14 = masa del extracto concentrado de colorante natural

C13= 226 ml alcohol recuperado

$$C13 = m = 0,789 \text{ g/ml} * 226 \text{ ml}$$

$$C13 = 178,314 \text{ g. etanol recuperado}$$

Balance General: $C12 = C13 + C14$ Ec. 3.9

$$C14 = 184,099 \text{ g.} - 178,314 \text{ g.}$$

$$C14 = 5,785 \text{ g. masa extracto conc. de colorante natural}$$

La cantidad de colorante obtenido es de 5,785 g el cual se transformó en rendimiento con respecto a la masa de semilla inicial de extracción.

$$\eta_e = \frac{g \text{ colorante natural}}{g \text{ materia prima inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$\eta_e = (5,785 \text{ g.} / 10,001 \text{ g.}) * 100$$

$$\eta_e = 57,85 \%$$

Se tiene un rendimiento de 57,85 % de extracción del colorante natural.

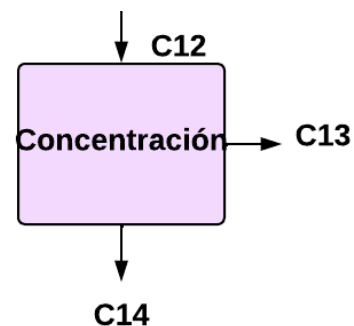


Tabla III-17: Resumen general del balance de materia en la extracción de colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada

Corriente	Etapas de Proceso para la Obtención del colorante natural	Flujos (g)
	SELECCIÓN Y LIMPIEZA	
C1	Masa materia prima	16,02
C2	Masa de las Impurezas	3,50
C3	Masa Materia prima seleccionada	12,52
	SECADO	
C4	Masa Vapor de Agua	2,37
C5	Masa materia prima seca	10,15
	MOLIENDA	
C6	Masa pérdidas en el proceso	0,149
C7	Masa materia prima molida	10,001
	EXTRACCIÓN	
C8	Masa de Etanol 90%	197,25
C9	Masa pérdida Etanol 90% (evaporación)	11,58
C10	Masa del Extracto (materia prima + solvente)	195,67
	FILTRACIÓN	
C11	Masa pérdidas en la filtración	11,571
C12	Masa extracto filtrado	184,099
	CONCENTRACIÓN	
C13	Masa Etanol recuperado	178,314
C14	Masa Extracto concentrado de colorante natural	5,785

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.12 Balance de Energía para la extracción de colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada

Para realizar el balance de energía se deben tomar en cuenta los procesos que impliquen un intercambio de energía.

Aplicando la primera ley de la termodinámica “Ley de la conservación de la energía”. Si la frontera de un sistema no permite el transporte de materia entre el sistema y sus alrededores, entonces se dice que el sistema es cerrado, descrita mediante la siguiente ecuación. (Smith & Abbott, 1996).

$$\Delta E_{cinética} + \Delta E_{potencial} + \Delta U = Q + W \quad \text{Ec. 3.11}$$

Los sistemas cerrados a menudo experimentan procesos donde la energía cinética y potencial son tan pequeños que pueden considerarse a estos como despreciables, sino solamente en su energía interna. (Smith & Abbott, 1996).

$$\Delta E_{cinética} + \Delta E_{potencial} = 0 \quad \text{Ec. 3.12}$$

Como el sistema se encuentra en un estacionario el volumen se mantiene constante por lo cual no se efectúa el trabajo en el sistema. (Smith & Abbott, 1996).

$$W = 0$$

Entonces la ecuación es:

$$\Delta U = Q \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

Según Smith & Abbott (1996), para un sistema estacionario a volumen constante el calor sensible y latente es igual a:

$$Q_{sensible} = m_T * C_p * \Delta T \quad \text{Ec.3.14}$$

$$Q_{latente} = mv * \lambda \quad \text{Ec. 3.15}$$

$$Q_{Total} = Q_{sensible} + Q_{latente} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde:

m_T = Masa total del componente (kg).

C_p = Capacidad calorífica (Kcal/kg °C)

ΔT = Diferencial de temperatura (°C)

T_f = Temperatura final (°C)

T_i = Temperatura inicial (°C)

mv = Masa de agua que se evapora (kg)

λ = Calor latente de vaporización (Kcal/kg)

3.12.1 Balance de energía en el Secador

La energía transferida comprende:

- Calor sensible para aumentar la temperatura de la masa de la cáscara de cebolla mora a la temperatura de secado.
- Calor latente para el cambio de fase del agua líquida a vapor.

Balance energético

$$Q_1 = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{vaporización}} \quad \text{Ec. 3.17}$$

$$Q_{\text{sensible}} = C * \Delta h_{\text{solido}} \quad \text{Ec.3.18}$$

$$\Delta h_{\text{solido}} = C_{\text{ps}} (T_f - T_i) + X_3 C_{\text{pagua}} (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 3.19}$$

Para calcular el calor específico (Kcal/Kg °C) de la materia prima se utilizó la Ec. 3.20 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_p = X_f * C_{\text{pf}} + X_a * C_{\text{pa}} + X_w * C_{\text{pw}} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Donde:

$C_{\text{pf}} = 1,5 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de la fibra}$

$C_{\text{pa}} = 0,8 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las cenizas}$

$C_{\text{pw}} = 4,18 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico del agua}$

$X_f = \text{Fracción másica de la fibra} = 0,2547$

$X_a = \text{Fracción másica de las cenizas} = 0,1006$

$X_w = \text{Fracción másica del agua} = 0,1009$

En la tabla muestra los datos de la composición fisicoquímica de la cáscara de la cebolla morada, estos valores son utilizados para calcular el calor específico y son reemplazados en la Ec. 3.20

$$C_{ps} = (0,2547 * 1,5) + (0,1006 * 0,8) + (0,1009 * 4,18)$$

$$C_{ps} = 0,884 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

Reemplazamos datos en la Ec. 3.19, entonces:

$$\Delta h_{\text{solido}} = 0,884 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{K} ((273,15 + 60) - (273,15 + 20)) ^\circ\text{K} + 0,1009 * 4,184 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{K} ((273,15 + 60) - (273,15 + 20)) ^\circ\text{K}$$

$$\Delta h_{\text{solido}} = 43,803 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0,01015 \text{ Kg} * 43,803 \text{ Kj/ Kg}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0,444 \text{ K j}$$

$$Q_{\text{vaporización}} = C_5 * (X_3 - X_5) * \Delta h_{\text{vap}} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Por tablas termodinámicas se halla la entalpía de vaporización

$$\Delta h_{\text{vap agua}} = 2.317,7 \text{ Kj / Kg}$$

$$Q_{\text{vaporización}} = 0,01015 \text{ Kg} * (0,1009 - 0,0435) * 2.317,7 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q_{\text{vaporización}} = 1,350 \text{ Kj}$$

Entonces el calor necesario es:

$$Q_1 = 0,444 \text{ Kj} + 1,350 \text{ Kj}$$

$$Q_1 = 1,791 \text{ Kj}$$

3.12.2 Balance de energía en el equipo de extracción

$$Q_2 = Q_{\text{sensible}} \quad \text{Ec. 3.22}$$

$$Q_2 = m_{\text{cáscara}} * C_{ps} * (\Delta T) + m_{\text{solvente}} * C_{p\text{solvente}} * (\Delta T)$$

$$m_{\text{solvente}} = 0,19725 \text{ Kg Etanol al 90\%}$$

$$C_p. \text{ Solvente} = 2,513 \text{ Kj/ Kg } ^\circ\text{K}$$

$$Q_2 = 0,010 \text{ Kg} * 0,884 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{K} * ((273,15 + 90) - (273,15 + 15)) ^\circ\text{K} + 0,19725 \text{ Kg} \\ * 2,513 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{K} * ((273,15 + 90) - (273,15 + 15)) ^\circ\text{K}$$

$$Q_2 = 37,80 \text{ Kj}$$

El calor necesario para el proceso de maceración $Q_2 = 37,80 \text{ Kj}$.

3.12.3 Balance de energía en el rota-evaporador

3.12.3.1 Balance en el sistema de evaporación-condensación

La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 78 kPa, por lo que la presión del sistema es de:

$$P_{\text{atm Tarija}} = 101,3 \text{ kPa (Rodrigo Lopez Presión atmosférica, 2019).}$$

$$P_{\text{sis}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{red}} \quad \text{Ec. 3.23}$$

$$P_{\text{sis}} = 101,3 - 78$$

$$P_{\text{sis}} = 23,3 \text{ kPa}$$

3.12.3.2 Balance en Baño María y Balón de Mezcla giratorio

$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{ganado}} \quad \text{Ec. 3.24}$$

$$Q_{\text{entregado}} = m_{\text{agua baño}} * C_{p\text{agua}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{entregado}} = 4,0 \text{ Kg} * 4,187 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{K} * ((273,15 + 45) - (273,15 + 15)) ^\circ\text{K}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 578,04 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{ganado}} = m_{\text{metanol}} * C_{p\text{etanol}} * \Delta T + C_{p\text{colorante}} * \Delta T$$

Despejando Cp del colorante:

$$Cp_{colorante} = \frac{Q_{ganado} - m_{etanol} * Cp_{etanol} * \Delta T}{m_{colorante} * \Delta T}$$

$$Cp_{colorante} = \frac{578,04 \text{ Kj} - 0,178314 * 2,513 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} * ((273,15 + 45) - (273,15 - 15))}{0,005785 \text{ Kg} * ((273,15 + 45) - (273,15 - 15))}$$

$$Cp_{colorante} = 3253,22 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

A esta presión la entalpia de vaporización del etanol al 90% es:

$$\Delta h_{\text{vap etanol}} = 841 \text{ Kj/Kg}$$

Considerando que el etanol del extracto se calienta de 15 °C a 45°C, calor sensible, y luego se evapora:

$$Q_3 = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{vaporización}} \quad \text{Ec. 3.25}$$

$$Q_{\text{sensible}} = C_{12} * \Delta h_{\text{vap etanol}} \quad \text{Ec. 3.26}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0,184099 \text{ Kg} * 2,513 \text{ Kj/ Kg } ^\circ\text{K} * ((273,15 + 45) - (273,15 + 15)) ^\circ\text{K}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 13,879 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{vap.etanol}} = C_{12} * \Delta h_{\text{vap etanol}} \quad \text{Ec. 3.27}$$

$$Q_{\text{vap.etanol}} = 0,184099 \text{ Kg} * 841 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q_{\text{vap.etanol}} = 154,827 \text{ Kj}$$

Entonces:

$$Q_3 = 13,879 \text{ Kj} + 154,827 \text{ Kj}$$

$$Q_3 = 168,706 \text{ Kj}$$

3.12.3.3 Balance de energía en el Condensador

Cálculo de la cantidad de agua necesaria para condensar el etanol al 90%

$$Q4 = Q5$$

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$C13 * \Delta h_{vap \text{ etanol}} + C13 * C_{petanol} (T_{cond.} - T_{vap}) = \text{magua de cond.} * C_{p\text{agua}} * (T_e - T_s) \text{ Ec. 3.28}$$

Despejando la masa de agua de condensación

$$m_{aguadecond.} = \frac{C13 * \Delta h_{vap. etanol} + C13 * C_{petanol} (T_{cond.} - T_{vap})}{C_{p\text{agua}} * (T_f - T_i)}$$

$$m_{aguadecond.}$$

$$= \frac{0,178314Kg * 841 \frac{Kj}{Kg} + 0,178314Kg * 2,513 \frac{Kj}{Kg^{\circ}K} (318,15 - 293,15)C}{4,184 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * ((273,15 + 20) - (273,15 + 15))^{\circ}K}$$

$$\text{magua de cond.} = 80,304 \text{ Kg}$$

$$Q4 = 80,304 * 4,184 \text{ Kj/Kg } ^{\circ}K * ((273,15 + 20) - (273,15 + 15)) ^{\circ}K$$

$$Q4 = Q5 = 101,224 \text{ Kj}$$

Tabla III-18: Resumen del Balance de Energía

	Etapas de Proceso para la Obtención del Colorante Natural	Flujos, Kj
	Secado de la cáscara de cebolla	
Q sensible	Calor necesario para aumentar la temperatura de la masa de la cáscara de cebolla morada a la temperatura del secado	0,444
Q vaporización	Calor latente para el cambio de fase	1,350
Q1	Calor necesario para el proceso de secado	1,791
	Equipo de Maceración	
Q2	Calor de maceración	37,80
	Concentración del Extracto	
Q3	Calor necesario para evaporar el solvente	168,706
Q4	Calor necesario para condensar el solvente	101,224
Q5	Calor necesario para condensar el solvente	101,224

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

COSTOS DEL PROYECTO

4.1 Evaluación de costos

Para determinar el presupuesto de investigación se realiza la evaluación de costos de los gastos que se realizan durante la elaboración de todo el proyecto.

Tabla IV-1: Detalle de Costos de insumos y materia prima

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Bs.)	Costo (Bs.)
Materia Prima	Cáscara de cebolla	200	g	0,10	20
Solvente	Etanol	6	l	9,00	54,00
Reactivos	Agua destilada	3	l	4,00	12,00
	Hidróxido de Sodio	10	g	0,500	5,00
	Ácido Clorhídrico	15	ml	0,300	4,50
	Quercetina	2	g	40,00	80,00
	Etanol p/ análisis SQF	2	l	23,00	46,00
	Total				221,50

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla IV-2: Detalle de Costos de Materiales

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Bs.)	Costo (Bs.)
Papel filtro	Whatman 42	2	Pliegue	8,00	16,00
Matraz Erlenmeyer	1000 ml	1	Pieza	133,00	133,00
Botellas de vidrio ambar	60 ml	18	Pieza	2,50	45,00
Bolsa hermética	Mediana	6	Pieza	1,50	9,00
Papel Aluminio	Rollo	2	Pieza	10,00	20,00
Total					223,00

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El resto de los materiales necesarios para la realización del estudio, fueron proporcionados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla IV-3: Detalles de los costos de análisis

Descripción	Parámetro	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Costo total (Bs.)
Cáscara cebolla morada	Humedad	1	40,00	40,00
	Ceniza	1	70,00	70,00
	Fibra	1	10,00	10,00
Extracto concentrado cáscara cebolla morada	Solidos solubles	1	20,00	20,00
	Solidos Insolubles	1	40,00	40,00
	Densidad relativa	1	40,00	40,00
	Ph	1	40,00	40,00
Total				260,00

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla IV-4: Detalle de Costos Material de Apoyo

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Costo (Bs)
Investigación en internet	Mes	6	160,00	960,00
Impresión	Hoja	1000	0,30	300,00
Anillados	-	4	5,00	20,00
Empastados	-	4	50,00	200,00
Transporte diario	Pasaje	110	4,00	440,00
Mano de obra	Mes	6	1.000,00	6.000,00
Total				7.920,00

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla IV-5: Detalle de Costos de energía

Equipo	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Energía (Kw-h)	Costo total (Bs)
Estufa	1,1	1,25	1,375	0,825
Agitador Magnético	0,64	1,50	0,960	0.576
Bomba de Vacío	0,23	1,17	0,269	0.161
Rota-evaporador	1,32	0,83	1,095	0,657
Total				2,219

Fuente: Elaboración propia, 2024.

*El costo fijo asociado al servicio de energía eléctrica fue: 0,6 Bs/Kw-h.

Tabla IV-6: Detalle de Costos totales del estudio

N°	Descripción	Costo (Bs)
1	Costos de insumos y materia prima	221,50
2	Costos de materiales adquiridos para realizar la parte experimental	223,00
3	Costos de análisis	260,00
4	Costos de material de apoyo	7.920,00
5	Costos de energía utilizada	2,219
Total		8.626,72

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El costo total de la investigación es de 8.626,72 Bs.

4.2 Costo de producción

A partir de los balances de materia y energía y el gasto energético de los equipos utilizados puede estimarse el costo de producción para la obtención de un colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada.

El costo de producción se realizó para el mejor experimento obtenido en el diseño experimental de la extracción, el cual tiene una relación soluto-solvente 1:25, una temperatura de 90°C y un tiempo de extracción igual a 90 min.

Los costos fijos asociados a los servicios básicos fueron; energía eléctrica 0,6 Bs/ kWh y agua 0,7 Bs/m³.

La siguiente tabla V-7, estiman el costo de producción sin considerar el salario del operador.

Tabla IV-7: Costo total de producción

Agua	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Baño Rota-vapor	4,0	Litro	0,07	0,28
Agua como refrigerante	80,304	Litro	0,07	5,62
Solvente y Materia Prima	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Etanol	0,25	Litro	9,00	2,25
Cáscara de cebolla morada	0,010	G	5x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁸
Gastos extras	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Botella de vidrio ambar para presentación	1	Unidad	2,50	2,50
Gasto energético				2,219
Total				12,86

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El costo total de producción aproximado es de 12,86 Bs para la producción de 5,785 g de Extracto concentrado de la cáscara de cebolla morada.

El precio unitario del extracto concentrado de la cáscara de cebolla morada es:

$$\frac{12,86 \text{ Bs}}{5,785 \text{ g}} = 2.2 \text{ Bs/g colorante de cásc.cebolla morada}$$

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se lograron determinar las variables de mayor incidencia en las diferentes etapas del proceso para la extracción de colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada.

- La selección de la materia prima para utilizar en el proceso de la extracción del colorante natural se determinó realizando ensayos preliminares donde se obtuvo una mayor concentración de pigmentos con la cáscara de la cebolla morada.
- La cáscara de cebolla morada utilizada para el proceso de extracción es recolectada directamente del Mercado Campesino, esta cebolla proviene de la comunidad “El Puente” que se encuentra en el departamento de Tarija con un costo de 0,10 bs, siendo estas de color púrpura intensa. Los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio del CEANID fueron: Ceniza: 10,06%, Fibra: 25,47% y Humedad: 10,09%.
- La selección del proceso a emplear para la obtención de un colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada. se logró a través de matrices de decisión, para el proceso de extracción.
- Las variables estudiadas fueron: temperatura, tiempo de extracción y relación soluto: solvente. Siendo las variables determinantes; temperatura y relación soluto: solvente.
- Como resultado de los experimentos realizados según el diseño factorial en el proceso de extracción con etanol al 90%, la combinación más óptima para este proceso fue: relación soluto: solvente de 1:25, Temperatura igual a 90°C y tiempo de extracción igual a 90 min, obteniendo una concentración leída en el espectrofotómetro UV igual a 4,62 g/ml.

- El extracto concentrado obtenido a partir de la cáscara de la cebolla morada obtuvo un mejor rendimiento en el experimento número 8 y de la misma manera en la réplica, el rendimiento del proceso tecnológico en la extracción es de 57,85% y el rendimiento del colorante es igual a 76,35%.
- El colorante obtenido tiene un color vino intenso característicos de los flavonoides, con un aroma a vegetal. Para caracterizar el color se utilizó una tabla Munsell el cual se tiene un código 5R 2.5/6.
- Las pruebas cualitativas del colorante natural a partir de la cáscara de la cebolla morada dieron un resultado positivo, es decir, se existe la presencia de flavonoides en el extracto concentrado de la cáscara de la cebolla morada.
- En el extracto concentrado de la cáscara de la cebolla morada no hay presencia de antocianinas ya que en las pruebas cualitativas se obtuvo una coloración roja lo cual indica resultado negativo porque se esperaba una coloración azul. entonces pertenecen a los flavonoides.
- La cuantificación de flavonoides se realizó con un espectrofotómetro UV, en el cual se realizó la preparación de una curva de calibración de la Quercetina, un barrido espectral y por último la cuantificación de los flavonoides expresados en Quercetina del extracto obtenido fue de 4,52 mg/ml.
- Los parámetros fisicoquímicos más importantes del producto a caracterizar fueron: Sólidos solubles: 27,0 °Brix, sólidos insolubles: 0,75, densidad relativa: 0,8789 g/ml y pH: 3,79. Estos fueron realizados en el CEANID.

5.2 Recomendaciones

- Fomentar el uso de colorantes de origen natural para evitar la contaminación del medio ambiente y aprovechar estos recursos que permiten una buena rentabilidad por su bajo costo y su fácil obtención.
- Utilizar este mismo trabajo para evaluar otras variedades de cebolla presentes en el departamento de Tarija, que pueden ser interesantes para el mismo objetivo.
- Realizar estudios de estabilidad y toxicidad del colorante obtenido para una mayor confiabilidad y poder comercializarlo en la industria textil, farmacéutica, alimentos, etc.
- Realizar estudios de investigación sobre las propiedades fisicoquímicas del colorante natural de la cáscara de la cebolla morada, para identificar los beneficios que puede otorgar a la piel si esta es utilizada en la elaboración de cosméticos.
- Para futuros estudios sobre este colorante natural de la cáscara de la cebolla morada, se debe evaluar la degradación del colorante natural respecto al tiempo, con el objetivo de poder aumentar el tiempo de vida para cualquier aplicabilidad.
- Se recomienda el uso de solventes no tóxicos en la etapa de extracción, debido a que, si se desea incluir los Flavonoides en matrices alimenticias, es vital que no sean tóxicas, pues cualquier remanente tóxico puede afectar la calidad de vida del ser humano.
- Los flavonoides tienden a tener un tiempo de vida menor si las condiciones del producto son en estado líquido, por lo que es recomendable realizar un proceso de liofilización o secado spray para la obtención de Extracto de Cáscara de cebolla morada en estado sólido.
- El colorante natural obtenido de la cáscara de cebolla morada exhibe propiedades tintóreas prometedoras para su uso en textiles y cosméticos.

Aunque su aplicación en alimentos no ha sido evaluada en este estudio, abre nuevas vías de investigación en el campo de los colorantes naturales.

- Se recomienda realizar pruebas sensoriales que permitan evaluar su perfil sensorial completo, incluyendo sabor, aroma y apariencia, con el fin de verificar su idoneidad para su uso en productos alimenticios.
- Para futuros estudios, dar reutilización al etanol recuperado en el proceso de destilación y con el agua que fue utilizada para su condensación en el equipo rota evaporador.