

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I. CAPÍTULO

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las antocianinas (del griego ἀνθός (anthos): 'flor' + κυανός (kyáneos): 'azul') son pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos.

El término antocianina ha sido propuesto por (Marquart, 1835) para describir el pigmento azul de la col lombarda (*Brassica oleracea*). Actualmente las antocianinas engloban a los pigmentos rojos, violetas y azules de las plantas. En el caso concreto de las antocianinas se produce el efecto batocrómico, que consiste en que, al cambiar el pH, se pasa del rojo anaranjado en condiciones ácidas, como el de la pelargonidina (R, R'=H), al rojo intenso-violeta de la cianidina (R=OH, R'=H) en condiciones neutras, y al rojo púrpura-azul de la delphinidina (R, R'=OH).

Willstätter fue el primero en describir el cambio de color de las antocianinas. Un factor que contribuye a la variedad de colores en flores, hojas y frutas es la coexistencia de varias antocianinas en un mismo tejido, por ejemplo, en las flores de la malvarrosa (*Althaea rosea*) podemos encontrar malvidina (R, R'=OCH₃) y delphinidina en diferentes cantidades.

Las antocianinas se encuentran en muchas frutas oscuras, como la frambuesa azul y negra, zarzamora, cereza, mora azul, uva azul y negra, y otras verduras.

Según estudios de la Universidad del Estado de Ohio, la antocianina juega un rol importante en la prevención de degeneración de células de órganos en mamíferos y humanos.

La antocianina es un pigmento natural, etiquetado E163 en Europa que se encuentra ampliamente en la naturaleza en frutas y hortalizas comestibles, especialmente en las frambuesas.

El tono de color depende del pH, naranja-rojo en las soluciones ácidas y violeta-azul en las alcalinas. A causa de ciertas propiedades técnicas, estas fuentes son muy estables a la luz, el pH y el calor, lo que los convierte en sustitutos excelentes de los colorantes artificiales rojos en alimentos y otros productos.

Las antocianinas se pueden extraer de diferentes tejidos vegetales (Pereira- Kechinski *et al.*, 2010; Garzón 2008).

En la actualidad existe la tendencia de utilizar los extractos de antocianinas sin necesidad de realizar la separación de los distintos componentes, debido a que todos ellos, presentan propiedades antioxidantes (von Elbe y Steven, citado por Zapata *et al.* 2014).

En relación a la extracción, el método usual de extracción es la extracción sólido-líquido. El carácter polar de la molécula de antocianina permite su solubilidad en variados solventes, tales como alcoholes, acetona y agua Su estabilidad es afectada fácilmente por modificaciones estructurales con grupos hidroxilo, metoxilo, glucósidos y grupos acilos, además de factores como la temperatura y la luz (Pereira-Kechinski *et al.* 2010; Garzón 2008).

El método de extracción de antocianinas debe ser el más adecuado en cada aplicación concreta. Las condiciones de extracción, tales como relación sólido-líquido, temperatura, tiempo, tipo de disolvente y concentración de disolvente influyen en la estabilidad de las antocianinas, así como también en la concentración de antocianinas extraídas (Bridgers *et al.*, 2010, citado por Zapata *et al.* 2014). Así, maximizar la recuperación de pigmentos, minimiza los compuestos adjuntos extraídos y limita la degradación o alteración del estado natural del extracto. El conocimiento de los factores involucrados en su estabilidad y de los mecanismos de degradación de las antocianinas es sumamente vital para una eficiente extracción, purificación y uso de las antocianinas como colorantes de alimentos. (Zapata *et al.* 2014) particularmente.

En este sentido, Gorriti-Gutierrez *et al.* (2009^a) estudiaron las mejores condiciones de extracción de antocianinas a partir de corontas de maíz morado.

Ensayaron extracciones con soluciones etanólicas al 20 % y pH 2 acondicionadas según un diseño factorial con los factores temperatura y tiempo de extracción.

Los resultados obtenidos indicaron que las mejores condiciones de extracción correspondieron a una temperatura de 75 °C y un tiempo de extracción de entre 120 y 240 minutos, mientras que las condiciones más desfavorables fueron 25 °C y 30 minutos. También se ha estudiado la influencia de otras variables de proceso como el tipo de solvente de extracción y el pH. Así, Gorriti-Gutierrez *et al.* (2009) concluyeron que la extracción se ve favorecida por la utilización de un medio etanólico al 20 % como agente de extracción y un pH entre 2 y 4.

El interés por los pigmentos de antocianinas e investigación científica se han incrementado en los últimos años, debido no solamente al color que confieren a los productos que las contienen, sino a su papel en la reducción de enfermedades coronarias, cáncer, diabetes. Las antocianinas tienen efectos antiinflamatorios y mejoramiento de la agudeza visual y comportamiento cognitivo. Por lo tanto, además de su papel funcional como colorantes, las antocianinas son agentes potenciales en la obtención de productos con valor agregado para el consumo humano.

A pesar de las ventajas que ofrecen las antocianinas como sustitutos potenciales de los colorantes artificiales, factores como su baja estabilidad y la falta de disponibilidad de material vegetal limitan su aplicación comercial.

La preocupación por la toxicidad de los colorantes sintéticos usado en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos ha sido investigada por Hallagan en 1991, y Lauro en 1991, quienes lograron reportar colorantes N°2 y N°40, los cuales están prohibidos en diferentes países, este hallazgo se relaciona con modificaciones en la hiperactividad en niños en dichos países.

Las antocianinas son antioxidantes, flavonoides que forman parte de compuestos fenólicos, como se menciona en (WordPress, 2020) sus propiedades y beneficios hacia la salud son amplios.

La siguiente tabla muestra el contenido de antocianinas en vegetales

Tabla I-1 Antocianinas presentes en frutos y vegetales

Fruto o vegetal	Contenido de antocianinas (mg/kg ⁻¹)	Fuente bibliográfica
Manzana (cáscara)	100-2160	(Eder, 2000)
Mora	820-100	(Eder, 2000)
Arándano	825-5300	(Timberlake, 1980)
Cereza	3500-4500	(Eder, 2000)
Arándano agrio	460-2000	(Timberlake, 1980)
Fresa	127-360	(Timberlake, 1980)
Repollo (rojo)	250	(Timberlake, 1980)
Cebolla (roja)	Up to 250	(Timberlake, 1980)
Frambuesa	2250-2400	(Salinas_Moreno & g.Almaguer-Vargas, 2009)

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

A lo largo de los años las antocianinas han sido estudiadas en Tarija en distintos frutos que las contienen, se conocen investigaciones con relación a la extracción de antocianinas en frutas realizadas en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho como “Extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado” por Carvallo Humacata Marimthia, “Obtención de extracto de antocianinas de Arándano (*vaccinium corymbosum* L) cultivado en el Valle Central de Tarija” por Enilce Yessica Cruz H y “Obtención de

antocianinas de la Frutilla (*Fragaria Ananassa*)” por Cinthia Rosario Choque Oña.

Estos trabajos muestran la gran importancia de las antocianinas en la actualidad, además de que estas se encuentran en diversas variedades de frutos que son cultivados en el departamento.

1.1.1. Objetivo general

Obtener antocianinas por método de extracción sólido/líquido a partir de la frambuesa (*RUBUS IDAEUS L.*), producida en el departamento de Tarija.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros del proceso de obtención de antocianina a partir de la frambuesa.
- Determinar el contenido de antocianinas de frambuesa utilizando metanol o alcohol como solvente en tiempos de extracción.
- Determinar el rendimiento del proceso.
- Realizar el estudio de costos del proyecto.
- Determinar la influencia de la temperatura y el tiempo en el proceso de extracción sólido -líquido de antocianinas a partir de frutos de frambuesa.
- Obtención y caracterizar la antocianina obtenida de la Frambuesa.
- Estudiar la degradación de antocianina presente en el extracto obtenido en función de la temperatura.
- Realizar un balance de Materia y Energía en el proceso de obtención de Antocianinas de la Frambuesa
- Determinar las características fisicoquímicas de las antocianinas obtenidas de la Frambuesa.

1.2. Justificación del tema

La Frambuesa presenta propiedades dietéticas y nutritivas, propiedades para la salud, por tal motivo realizar la extracción de las antocianinas le da valor agregado.

Con el presente trabajo de investigación se pretende dar importancia a nuevas alternativas de obtención de colorantes naturales y sustituir el uso de colorantes sintéticos en el País.

Este proyecto puede generar ingresos adicionales a los productores locales y nacionales, de Frambuesa.

Realizar la obtención de antocianinas(colorante), este proceso es más eficiente, tiene menor costo, se utiliza menos energía para la obtención del colorante, este método, comparado con los otros métodos, tiene una mayor complejidad, pero presenta mejores ventajas, mismo en disponibilidad de equipo. Donde investigaciones realizadas con anterioridad nos demuestran porque esta técnica es la más utilizada, como se indica a continuación:

- Cacace y Mazza (2006) publicaron un trabajo que consistió en la optimización de la extracción de Antocianinas y compuestos fenólicos de grosellas negras usando etanol acuoso como solvente de extracción. Las variables independientes seleccionadas por estos investigadores fueron: concentración de etanol, temperatura y relación soluto- solvente. Dos de las respuestas evaluadas fueron la concentración de polifenoles totales y la concentración de Antocianinas. La elevación de la temperatura de extracción no afecta la extracción de fenoles, sin embargo, provoca una disminución en el rendimiento de extracción de Antocianinas debido a la degradación de las mismas.
- Fan et al. (2008a) investigaron sobre las condiciones de extracción de Antocianinas presentes en batata morada. Trabajaron con etanol como solvente de extracción acidificado con ácido clorhídrico, cuyas variables

independientes son: temperatura de extracción, tiempo y relación sólido-líquido y como respuesta se evalúa el rendimiento de extracción de antocianinas. La temperatura de extracción y la relación sólido-líquido aumentaron el rendimiento de extracción, mientras que el tiempo no tiene efecto significativo.

El presente trabajo de investigación se realiza con el propósito de aumentar o iniciar la producción de antocianinas en el departamento de Tarija y en todo el País Bolivia.

Este proyecto representaría un beneficio ambiental, como ser:

- Al utilizar un colorante natural, se convierte en una alternativa para el mercado nacional “Colorante Natural de Frambuesa” como un producto novedoso, que puede remplazar a los colorantes artificiales, lo cuales son riesgosos para la salud.
- Las antocianinas son un colorante natural enriquecido de Antioxidantes, que son beneficiosos para la salud humana.
- Fortalecer el área productiva para la producción agrícola boliviana, presentando otras aplicaciones y potenciales mercados para extractos que se obtienen a partir de materias primas que se cultivan en el departamento y el país como es el caso de la Frambuesa.

Cabe mencionar, que la extracción de Antocianinas es posible de distintas fuentes naturales, sin embargo, el Extracto de Antocianinas de la Frambuesa, presenta beneficios importantes para la salud humana, debido a las propiedades que presentan, pudiendo servir como principio activo para la elaboración de fármacos y cosméticos.

Las propiedades de las antocianinas contrarrestan efectos como, hiperactividad y déficit de atención; mejorando la salud de quienes lo consumen.

Los beneficios en la salud por el consumo de antocianinas son relevantes, como el mejoramiento de la agudeza visual y del aprendizaje cognitivo como resultado de su consumo (Denisova, 1999); como también la reducción de la inflamación (K, 2005)

II. CAPÍTULO

MARCO TEÓRICO

2.1. Frambuesa

La frambuesa es una planta que crece silvestre en diversas regiones. Es una fruta pequeña, cónica o redondeada con una piel aterciopelada de color rojo o amarillento. La pulpa es muy aromática y su sabor es agridulce. Se puede consumir cruda o emplearse para elaborar mermeladas, jaleas y bebidas. También se puede encontrar congelada.

En realidad, este fruto está compuesto por numerosas drupas pequeñas y redondeadas que contiene cada una de ellas una semilla, agrupándose en un pequeño receptáculo cónico.

2.1.1. Taxonomía

Su nombre científico es *Rubus Idaeus*, de nombre común frambueso; es un arbusto del género *Rubus* nativo de Europa y Norte de Asia

Tabla II-1 Taxonomía de la frambuesa

Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Sub familia	Rosoideae

Fuente: (FAO, 2011)

La Frambuesa posee importantes nutrientes como la vitamina C, útil para la absorción de hierro. Además, la frambuesa contiene una amplia variedad de antioxidantes como quercetina, miricetina y ácido elágico que desempeñan un papel importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Asimismo, la frambuesa es una buena fuente de fibra y se le atribuyen

propiedades diuréticas.

A continuación, se presenta la composición nutricional en una muestra de 100g

Tabla II-2 Composición nutricional de la frambuesa, muestra de 100g

Nutrientes	Cantidad	Nutrientes	Cantidad
Energía(kcal)	38	Calcio (mg)	2
Proteína (g)	0,59	Grasa Total (g)	0
Fibra dietética (g)	5	Vitamina C (UI)	40
Carbohidratos (g)	13	Hierro(mg)	2

Fuente: (Badui, 2006)

2.1.2. Composición química

(Terranova, 1995) Determina la presente composición basándose en 100g de muestra de frambuesa.

Tabla II-3 Composición química de la frambuesa

Componente	Unidad	Cantidad
Agua	ml	87,75
Proteína		1,20
Grasa	UGP	0,65
Carbohidratos		11,94

Componente	G
Fibras	6,5
Azúcares	4,42

Fuente: (Nutricion Frutty, 2020)

Ilustración II-1 Frambuesa, variedad Rubius Idaeus L



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.2. Producción actual de Frambuesa en el País.

En Bolivia la Frambuesa se cultiva en los valles de Tarija y Cochabamba. En el valle central de Tarija, comprendido entre las provincias Cercado y Méndez, más de 30 familias están dedicadas a la producción de Frambuesa en grandes cantidades, estos productores son parte de la Asociación de Fruticultores y Horticultores de Tarija (AFRUTAR) los que se encargan de comercializar la fruta. En el caso de Cochabamba, son más de 35 familias del valle de Sacaba dedicadas a esta actividad, representando así una alternativa de producción, que les permite mejorar sus ingresos. En ambos departamentos los productores de Frambuesas están apoyados por los gobiernos departamentales, USAID, la Fundación Valles y el Fondo Multilateral de Inversiones (EIFOMIN) y hace más de 3 años se encuentran

comercializando Frambuesas de alta calidad dentro y fuera de Bolivia realizándose despachos semanales al mercado brasileño, donde se comercializan en supermercados, con el orgulloso sello de “Bolivian Berries”, a través de los canales de comercialización en el mercado interno se venden en Cochabamba, La Paz, Santa Cruz y Tarija, bajo la misma marca. A parte de esto, ARRUTAR cuenta con una planta de procesamiento, donde se elaboran algunos derivados como: mermeladas y fruta deshidratada, las que después son seleccionadas y empaquetadas cumpliendo normas de inocuidad.

La exportación de Frambuesas se realiza según la siguiente partida arancelaria NANDINA: • 0810.20.00.00 Frambuesa, zarzamoras, moras y moras-frambuesa, frescas Las exportaciones son recientes y hasta octubre de 2008 se registraron exportaciones de Frambuesas al mercado de Brasil por un valor aproximado de 8 mil dólares y un volumen de 1,2 toneladas.

2.2.1. Producción actual de Frambuesa en Tarija

En el valle central de Tarija se busca multiplicar por siete la producción de frutos rojos, como es la frambuesa. El trabajo en laboratorios in vitro es uno de los principales apoyos para lograr ese cometido. En la actualidad se tiene 14 hectáreas de cultivo, pero el objetivo es incrementar a 100.

Los ingresos por la venta de esta fruta son llamativos para el sector del agro.

Referido a la frambuesa, en una hectárea entran 13.000 plantas que rinden 140.000 kilos, que, puesto a la venta a 15 bolivianos, se obtiene un ingreso 210.000 bs.

Hoy en día se da el cultivo in vitro con ayuda de la tecnología, que se aplica desde hace tres años y se beneficia a cinco asociaciones en el departamento.

El Servicio Departamental Agropecuario de Tarija, cuenta con unas 1.000 plantas, que este año se duplicarán.

2.2.2. Clasificación de la Frambuesa

Fruto del frambueso, arbusto de la familia de las rosáceas. Esta planta crece particularmente en claros de bosques o prados, en especial donde el fuego o las talas han dejado un espacio abierto para que crezca esta oportunista colonizadora. El fruto tiene forma redondeada o cónica, de entre 15 y 20 mm de diámetro en su base, con piel aterciopelada de color rojo o amarillento según las variedades, cubierta de un fino vello. Están compuestos por numerosas drupas pequeñas y redondeadas, agrupadas apretadamente sobre un pequeño receptáculo cónico

Tabla II-4 Clasificación de la frambuesa

Nombre común	Nombre científico	Tipo de cultivo
Frambueso Rojo)	<i>Rubus Idaeus</i>	Silvestre
Frambueso Silvestre	<i>Rubus Strigosus</i>	Silvestre
(Frambueso Negro)	<i>Rubus Occidentalis</i>	Silvestre
(Frambueso Púrpura).	<i>Rubus Neglectus</i>	Silvestre

Fuente: (Fennema, 2000)

2.2.2.1. Cultivo y plantación

- **Clima:** Las frambuesas se adaptan a climas templados con periodos de invierno definidos entre 5 – 20°C, ya que la temperatura baja se relaciona con el proceso de floración, la cual requiere de 700 a 1200 horas de frío durante épocas de invierno
- **Suelo:** Los suelos profundos y con buen drenaje son aptos para este tipo de fruto, puesto que es una planta muy sensible a la asfixia radicular. En este

sentido se recomiendan los suelos de textura arenosa o franco-arenosa, suelos de pH ligeramente ácidos y con una conductividad eléctrica menor a 1.2 dS/m

- **Planta:** Su multiplicación se realiza principalmente por métodos de reproducción asexual y los tipos de plantas más recomendables son en maceta y bandeja de alveolos ya que se obtienen plántulas con mayor calidad y sanidad al ser reproducidos mediante propagación in vitro de tejidos.
- **Establecimiento:** La época de plantación normal es de invierno a primavera, pero si se tienen condiciones óptimas se puede hacer en cualquier época del año con variedades reflorecentes. La distancia entre calles que facilita las labores mecánicas es de 2 a 3 metros. (AGRICULTURA, 2019)

2.3. Antocianinas

Las Antocianinas son colorantes naturales o flavonoides que forman parte de los compuestos fenólicos, sales de benzopirilio (o flavilio) oxhidriladas. Son glucósidos que, por hidrólisis, producen azúcares y aglucones coloreados que se denominan antocianidinas (CF, 1980)

La palabra antocianina deriva del griego “anthos” (flor) y “kyanos” (azul oscuro); este es uno de los pigmentos más importantes; pues son derivados del catión 2-fenilbenzopirilio y se encuentran en su forma glucosilada; en el caso de las fresas, como cianidina-3-glucósido (J., 1980)

Las aplicaciones de las antocianinas en los sistemas alimenticios son usadas en sistemas de acidez intermedia para asegurar una predominancia del catión flaviolo, a su vez, extractos alimenticios ricos en antocianinas han sido incorporados y desarrollados dentro de suplementos alimenticios dietéticos como el arroz rojo, extractos de antocianinas de maíz morado, el pan de trigo azul además de otros que al ser procesados pueden incorporarse en bebidas y otros alimentos (Aguilera Ortiz, Miguel, 2011)

2.3.1. Estructura Química

Pertenece a la familia de los flavonoides posee un esqueleto básico C₆-C₃-C₆, de las cuales predominan las antocianinas formando heterósidos, cuyo aglicón, derivado del ion flavilio o fenil-2-benzopirilio, está hidroxilado en las posiciones 3, 5 y 7 y metoxilado en diferentes posiciones, como se conoce en la investigación de (B, 2008).

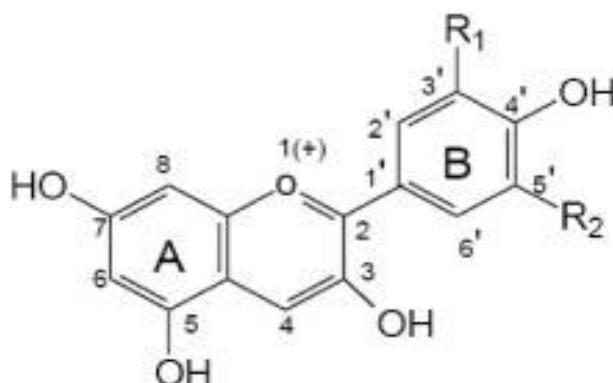
El aglicón está unido a una o varias moléculas de azúcar, las cuales pueden estar aciladas con diferentes ácidos orgánicos. Los hidroxilos y azúcares presentes en la molécula le confieren la propiedad de ser solubles en agua, alcoholes y acetona. Los azúcares más habituales unidos a las antocianidinas son la glucosa, galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa y fructosa. Además, son frecuentes los disacáridos como rutinosa, soforosa y sambubiosa o los trisacáridos como 2-xilosilrutinosa y glucurosilrutinosa (Brouillard, 1982). Los ácidos que pueden unirse a la molécula son los hidroxicinámicos, hidroxibenzoicos, acético y algunos acilados alifáticos dicarboxílicos, como el málico, malónico, oxálico y succínico.

Hay unas 17 antocianidinas identificadas en la naturaleza, de las cuales seis, pelargonidina, cianidina, peonidina, delfinidina, petunidina y malvidina están ampliamente distribuidas en los alimentos (Hidalgo Jerez, 2012).

El color de las Antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas (Bakker J, 1992).

En las frambuesas, cabe destacar, además, su alto contenido en compuestos fenólicos, que se encuentran las antocianinas, cianidinas, elagitaninos, ácido elágico e hidroxicinamatos, que junto a las vitaminas C y E, confieren a este alimento una gran capacidad antioxidante. Además, es la que estudio una acción antimicrobiana, potenciadora del sistema inmune y reguladora de la presión arterial y la glucemia. (CF, 1980)

Ilustración II-2 Estructura básica de las antocianinas



Fuente: (Aguilera Ortiz, Miguel, 2011)

2.3.2. Principales factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

Existen diversos factores que influyen en la estabilidad de las Antocianinas. La estructura de éstas puede verse afectada en cualquier etapa de un proceso tecnológico, como por ejemplo un proceso de extracción de Antocianinas de un material vegetal, como así también durante un tratamiento térmico o durante el almacenamiento de un producto que las contienen (Aguilera Ortiz, Miguel, 2011). Los factores más relevantes que afectan a la estabilidad de las antocianinas son:

2.3.2.1. El pH

Las Antocianinas pueden encontrarse en diferentes formas químicas dependiendo del pH, es decir que este factor influye en su estructura y por lo tanto en su estabilidad. A pH 1 predomina el catión flavilio que es de color rojo y es la forma más estable de las antocianinas, puesto que a valores de pH entre 2 y 4 ocurre la pérdida de un protón y adición de agua, encontrándose las antocianinas preferentemente bajo las formas quinoidales de color azul y a pH entre 5 y 6 se observan las especies pseudobase carbinol, que es incolora, y chalcona de color amarillo, ambas bastante inestables. A pH superiores a 7 se produce la degradación rápida de las Antocianinas por oxidación con el aire. Esta reacción se ve afectada, además del pH, por la presencia de sustituyentes presentes en el anillo B (CF, 1980)

2.3.2.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores críticos que influyen en la degradación de Antocianinas. Las conversiones estructurales de las Antocianinas son reacciones endotérmicas. Resisten bien procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo. Por efecto del calor, a temperaturas por encima de los 60°C, se degradan según una cinética de primer orden.

En general las características estructurales que conducen a una mayor estabilidad al pH son las mismas que conducen a una mayor estabilidad térmica.

Incrementos de temperatura provocan pérdidas del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura de anillo, con la consecuente producción de chalconas incoloras (Zapata, 2014)

2.3.2.3. El agua

El agua puede actuar como nucleófilo y atacar el catión flavilio en el C-2 formando la base carbinol incolora. Sin embargo, esta degradación puede variar, dependiendo de la concentración de azúcares o con el fenómeno denominado copigmentación. Cuando los azúcares se encuentran a altas concentraciones, la actividad de agua es baja, por lo que las moléculas de agua tienen menores posibilidades de atacar el catión flavilio para formar la base carbinol. Sin embargo, cuando los azúcares están en bajas concentraciones la actividad de agua no se ve afectada, por lo que sus productos de degradación (hidroximetilfurfural y furfural) aceleran la degradación de las antocianinas (J. H. B., 1993).

Dado que la molécula de agua interviene en reacciones que deterioran las antocianinas, resulta conveniente su eliminación para disminuir las probabilidades de ataque nucleofílico al catión flavilio (Rivera, 2015).

2.3.2.4. Oxígeno

Las Antocianinas pueden oxidarse por reacción directa con oxígeno, o bien a través de una oxidación indirecta en la que éstas reaccionan con compuestos que han sido previamente oxidados, dando lugar a la formación de productos de color marrón o

incolores. También, pueden reaccionar con radicales de oxígeno actuando como antioxidantes (Fennema, 2000). Estos mecanismos de oxidación se ven favorecidos cuando se eleva la temperatura. Además, se ha observado que, en presencia de oxígeno, el ácido ascórbico destruye a las antocianinas, formando peróxido de hidrógeno. Esta reacción se acelera en presencia de cobre y es inhibida en presencia de flavonoles como la quercetina. El peróxido de hidrógeno actúa rompiendo el anillo de pirilio de la antocianina por un ataque nucleofílico en C-2 produciendo ésteres incoloros y derivados de la cumarina. Estos productos de degradación son totalmente destruidos y polimerizados para formar precipitados de color café (Fennema, 2000).

2.3.3. Beneficio de las antocianinas

Los principales beneficios de las antocianinas hacia la salud humana son atribuidos en su mayoría a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias y más recientemente a su papel regulador en vías de señalización celular y de expresión génica.

2.3.3.1. Propiedades anticancerígenas

Estudios *in vitro* sugieren que la actividad anticancerígena de las Antocianinas se debe a sus propiedades antiproliferativas, prooxidantes y apoptóticas, así como a su capacidad de regular la expresión génica. Se ha demostrado, por ejemplo, inhibición de la proliferación celular con extracto de frambuesas y vino en células hepáticas y en adenocarcinoma humano. Además, el extracto de frambuesa es capaz de inhibir la iniciación de la angiogénesis evitando la proliferación en el endotelio (Denisova, 1999)

2.3.3.2. Propiedades antioxidantes

La actividad antioxidante de las Antocianinas radica en el hecho de que pueden reaccionar con radicales libres. Estos últimos, entre los que se encuentran los radicales OH- (hidroxilo) y O₂- (superóxido), son capaces de atacar a proteínas, carbohidratos, grasas y ADN del cuerpo, ejerciendo un efecto oxidativo que daña las células (Zapa, 2014)

Así, cuando un radical reacciona con una molécula, la molécula resultante de esta reacción se convierte en un nuevo radical libre, originándose una reacción en cadena, que

provoca un daño en los tejidos, que, a su vez, derivan en enfermedades degenerativas disminuyendo la calidad de vida. Esta acción oxidante de los radicales libres puede ser controlada, o incluso prevenida, por una serie de sustancias denominadas antioxidantes. Se llama antioxidante a cualquier sustancia que retarda, previene o elimina el daño oxidativo hacia una molécula o bien, a la capacidad que tienen determinados compuestos para neutralizar los radicales libres.

Las Antocianinas se caracterizan por tener una deficiencia de electrones, debido a su particular estructura química, que las hace muy reactivas frente a los radicales libres presentes en el cuerpo, por consiguiente, pueden ser potentes antioxidantes naturales (Zapata, 2014).

2.3.3.3. Propiedades oculares

Algunos estudios han encontrado altas concentraciones de Antocianinas (700 pg/g) en el tejido ocular mostrando actividad antioxidante en la retina. Las investigaciones llevadas a cabo en animales alimentados con extractos de Arándano o mora han demostrado la disminución de cataratas, así como una mejora en la adaptación nocturna, disminución moderada de miopía, reducción de fatiga ocular y mejora en la presión sanguínea de la retina en ojos con glaucoma (Hidalgo Jerez, 2012)

2.3.3.4. Propiedades neuronales

Las Antocianinas pueden atravesar la barrera encefálica y distribuirse en el sistema nervioso donde merman el daño oxidativo implicado en enfermedades como el Parkinson o el Alzheimer. El consumo de bayas de Arándano mejora la función cerebral por su implicación en la inhibición neuroinflamatoria y en la modulación de señales neuronales cuyo resultado es la mejora cognitiva y de memoria (Hidalgo Jerez, 2012).

2.4. Extracción

La extracción es una operación la cual implica a una disolución, esta contiene un soluto y solvente; en el cual deberemos tomar en cuenta el cambio de fase del solvente, el contacto entre las partículas del soluto y factores muy importantes como:

- Cantidad de constituyentes solubles en el material
- Naturaleza del sólido y el solvente
- Distribución de sólidos solubles en el material

2.4.1. Extracción de antocianinas

Varios autores han estudiado la extracción de antocianinas, debido a que estos se encuentran en frutas y vegetales estos han observado que existe un mejor rendimiento mediante los siguientes métodos.

2.4.1.1. Extracción sólido – líquido

La extracción sólida – líquido es una operación básica cuya finalidad es la separación de uno o más componentes contenidos en una fase sólida, mediante la utilización de una fase líquida o disolvente. El componente o los componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida reciben el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte. La forma en que el soluto esté contenido en el sólido inerte puede ser diversa. Así, puede ser un sólido disperso en el material insoluble o estar recubriendo su superficie. También puede tratarse de un líquido que esté adherido o retenido en el sólido, o bien estar contenido en su estructura molecular, como menciona (Humacata, 2019).

La extracción en fase sólida se usa para absorber las Antocianinas y otros compuestos orgánicos hidrófobos y extraer los azúcares y ácidos orgánicos a partir del extracto (Whitaker, 2001).

Gorriti Gutierrez (2009), quien estudio las mejores condiciones de extracción de Antocianinas a partir de corontas de maíz morado. Ensayaron extracciones con soluciones etanólicas al 20 % y pH 2 acondicionadas según un diseño factorial con los factores temperatura y tiempo de extracción.

2.4.1.2. Extracción por fermentación

La fermentación en medio sólido se describe como un bioproceso de gran potencial para la producción de compuestos microbianos tales como combustibles, químicos industriales y compuestos fenólicos con amplias aplicaciones en la industria farmacéutica y alimentaria. Las ventajas que ofrece el empleo de este método no sólo son técnicas, debido a la alta especificidad de las reacciones que se llevan a cabo en este tipo de sistema, sino también económicas, ya que permite el uso de residuos vegetales como soporte y fuente de nutrientes para los microorganismos que se emplean en los bioprocesos (Zapata, 2014).

2.4.1.3. Extracción por agitación magnética

Esta es la metodología que usó (Humacata, 2019), la cual consiste en introducir la materia prima en un recipiente de vidrio en presencia del solvente seleccionado, estos son llevados a un agitador magnético el cual se pone en funcionamiento para para obtener el producto deseado; en esta técnica se toma en cuenta el tiempo de agitación, el tipo de solvente y la velocidad de trabajo del agitador

2.4.2. Solvente

Las antocianinas son compuestos solubles en solventes polares, por lo que se ha usado metanol y etanol con grados de acidez, como se ha mencionado anteriormente el pH influye en las antocianinas, mientras el solvente sea de menor valor de pH, más se aprovechará la extracción de las antocianinas.

El metanol es el alcohol más frecuentemente usado, aunque, debido a su toxicidad es preferible el etanol cuando los extractos van a ser usados con fines alimentarios. Otros solventes que se han utilizado son mezclas metanol/gua, etilenglicol, acetona y mezclas acetona/metanol/agua (Silva, 2004)

2.4.3. Cuantificación de antocianinas, método de Espectroscopia UV/VIS

La Espectroscopia es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas, ya que se caracteriza por su precisión,

sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza.

En algunos casos la espectroscopia UV/VIS puede ser fundamental para el estudio de ciertos problemas específicos. Por ejemplo, en la industria de los cosméticos, tintes, colorantes y pinturas. Desde el punto de vista del estudio estereoquímico y de grupos funcionales en una molécula orgánica, la espectroscopia UV no rivaliza con otras técnicas que tienen el mismo propósito, especialmente con la espectroscopia de Infra Rojo (IR) por las razones mencionadas anteriormente, sin embargo, su aplicación en la cuantificación de sustancias que absorben radiación UV la hacen una técnica insustituible.

2.4.4. Conservación de las antocianinas en extracto

Las antocianinas se conservan mejor a bajas temperaturas, puesto que su exposición a altas temperaturas genera su degradación, de la misma forma estas no deben ser expuestas a la luz, por lo que se recomienda almacenarlas en frascos de tono ámbar a temperaturas de 10- 15°C (Humacata, 2019).

III. CAPÍTULO

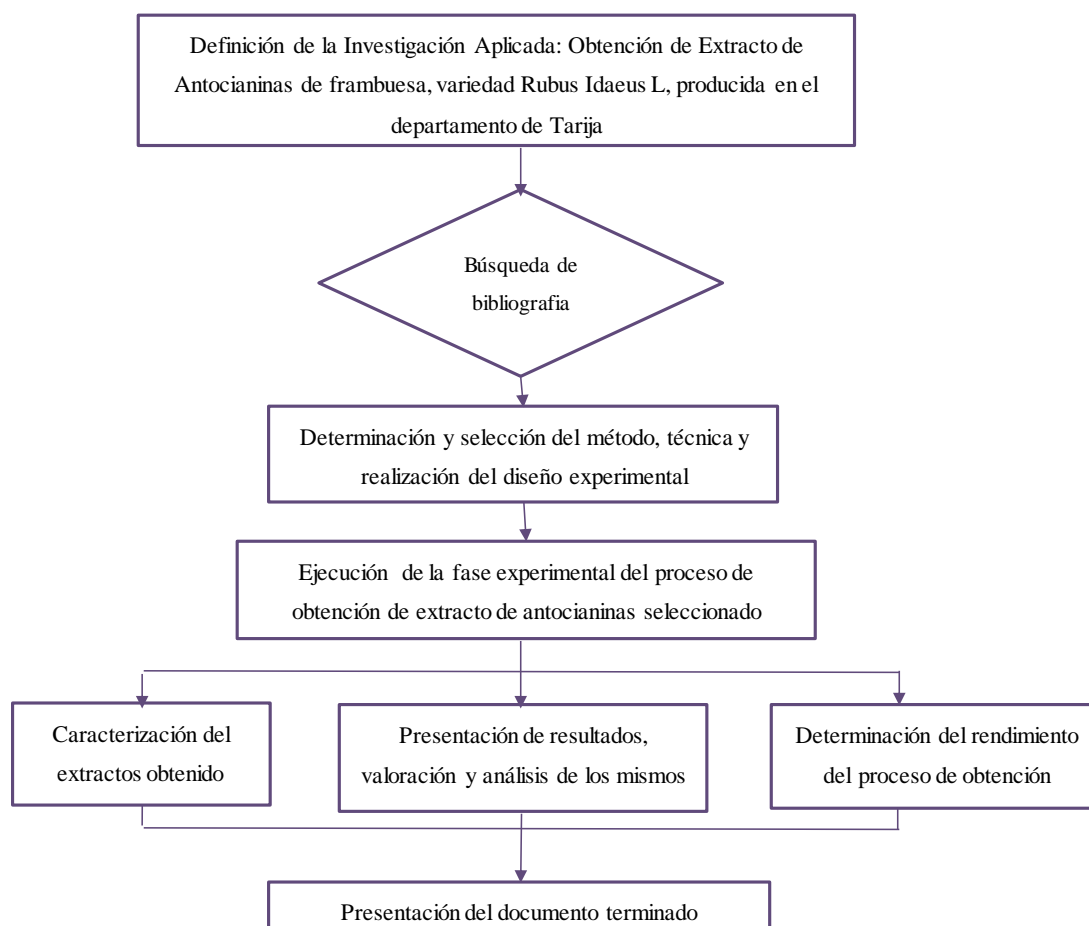
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Metodología del Estudio

3.1.1. Esquema de la metodología a seguir

En el presente trabajo se utilizó la metodología descrita en la *Ilustración III-0-1*, con el fin de alcanzar los objetivos planteados, hasta su conclusión

Ilustración III-0-1 Metodología del Estudio



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.2. Selección del método de Extracción

Para determinar el método de extracción se realiza una matriz de decisión en base a los equipos disponibles en el laboratorio, y las ventajas y desventajas, puesto que, aunque pueden existir mejores técnicas, el contar con los equipos es prioritario. Se utilizó la tabla *Ilustración 0-3 Escala de calificación para seleccionar método de extracción*, como referencia en la escala de puntaje.

Ilustración III-2 Escala de calificación para seleccionar método de extracción

Factor	% de valoración	Extracción sólido-líquido mediante filtración			Extracción por agitación Magnética			Extracción por fermentación		
		9	0,9	13,5	8	0,8	12	8	0,8	12
Complejidad	15%	9	0,9	13,5	8	0,8	12	8	0,8	12
Ventajas	30%	8	0,8	24	8	0,8	24	7	0,7	21
Desventajas	30%	6	0,6	18	6	0,6	18	5	0,5	15
Disponibilidad del equipo	25%	10	0,8	21,6	8	0,8	20	8	0,8	20
Total	100%	78			74			68		

Fuente: (Humacata, 2019)

Como se puede observar, según los parámetros contemplados la mejor técnica para la extracción de antocianinas, es por extracción sólido líquido, mediante filtración, por lo cual es el método a usar.

3.3. Selección del solvente

El método seleccionado, sólido – líquido, requiere de un solvente el cual debe cumplir con parámetros específicos para evitar la degradación del pigmento, no debe ser tóxico y

maximizar la extracción de las antocianinas.

Tabla III-1 Selección del solvente

Solvente	Ventajas	Desventajas
Metanol acidificado con HCl	Solvente muy efectivo	Tóxico alimenticio en uso
Etanol acidificado con HCl	Buena efectividad, cercana al metanol	Provoca la degradación del pigmento durante la concentración
Agua acidificada con HCl	Tiene una relación del 27% de efectividad comparada con el metanol acidificado	Bajo rendimiento
Metanol acidificado con ácido cítrico	Alto nivel de eficiencia	Tóxico alimenticio en uso
Etanol acidificado con ácido cítrico	Baja despigmentación, además de no tener efectos tóxicos en la salud.	Menor rendimiento comparado con otros solventes

Fuente: (Choque Oña, 2021)

Como se puede analizar en la tabla *III-2 Selección del solvente*, la mayor parte de las opciones son con el uso del HCl o metanol, que son sustancias tóxicas y de venta controlada, por lo que la opción a tomar es la de etanol acidificado con ácido cítrico.

3.4. Selección del proceso de cuantificación

El método de cuantificación se determina a partir de la disponibilidad de los equipos, en la siguiente tabla se exponen los métodos existentes y disponibilidad.

Tabla III-2 Equipos para la cuantificación de antocianinas

Proceso	Descripción	Alternativa	Disposición
Espectrofotometría	Selecciona la longitud de onda de luz que pasa por la solución.	Espectrofotómetro UV/VIS	Si (LOU- UAJMS)
Cromatografía de adsorción	La fase móvil debe estar en estado líquido y la fase estacionaria en fase sólida	Cromatógrafo	No
Espectroscopía Infrarroja	Con una sola lectura, determina con exactitud, la cantidad del compuesto requerido.	Equipo NIR	No

Fuente: Elaboración Propia, 2022

En este caso, el equipo a utilizar para la cuantificación de antocianinas presentes en el extracto fue a través del equipo de Espectrofotómetro UV/VIS.

3.5. Selección de las variables del proceso

3.5.1. pH

La extracción de antocianinas dependió del pH, para que estas puedan encontrarse en distintas formas químicas (Celso Luiz Bordignon Jr, 2008). El efecto del pH en la estabilidad de las antocianinas, los rangos de experimentación van desde 1 a 4, en general se puede señalar que bajos valores de pH posibilitan la obtención y un mayor rendimiento en la extracción, lo que probablemente se debe a que valores altos de acidez favorecen la formación del catión flavilio, que es la forma más estable de las Antocianinas (Zapata, 2014)

Por tal motivo se decidió trabajar con pH de 2,5 y 4 del solvente del proceso extractivo. Y no valores más altos de pH dado que el objetivo de extraer Antocianinas de Frambuesa es poder obtener un extracto con fin de ser utilizado como un colorante natural. Por otro lado, valores de pH muy altos podrían producir una degradación rápida de las Antocianinas, por lo que es probable que gran parte de éstas se pierdan en el proceso extractivo.

3.5.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es un factor primordial, pues muchas veces depende de él la cantidad de antocianinas obtenidas en un concentrado, no es lo mismo una concentración de 10min comparado con uno de 30min; también se debe considerar la temperatura de trabajo ya que el tiempo trabaja juntamente con la temperatura pues no se puede exponer el extracto a temperaturas muy altas por lapsos largos, se debe hallar un equilibrio entre estos y realizar pruebas para seleccionar las combinaciones óptimas para la obtención de extracto.

3.5.3. Temperatura de concentración

La temperatura de concentración es importante en la extracción de las antocianinas, ya que se someten a altas temperaturas tienden a degradarse, debido a que son de naturaleza vegetal, las temperaturas óptimas de extracción varían desde 30 a 45 °C para

evitar que estas se quemen; una vez obtenidas lo ideal es almacenarlas a bajas temperaturas y en recipientes de vidrio oscuro.

3.6.Diseño Experimental

3.6.1. Planteamiento de la hipótesis

Para la realización del presente diseño experimental de la obtención de extracto de antocianinas de frambuesa se toma en cuenta las siguientes hipótesis:

- Existe diferencia de concentración por la variación de temperatura para la extracción de antocianinas.
- Existe diferencia en la extracción en cuanto al valor de pH 2,5 y 4.
- Existe diferencia en cuanto a la concentración de antocianinas resultado del tiempo de concentración
- Existe diferencia en cuanto a la estabilidad y resultado del rendimiento de Antocianinas en el extracto

3.6.2. Modelo del diseño factorial

Para el presente trabajo, el diseño factorial es del modelo 2^k , donde los niveles son representados por el número 2 y K representa el número de factores, donde las variables son; pH, tiempo de concentración y temperatura de concentración.

La variable de respuesta será rendimiento total de antocianinas.

El modelo de experimentos será de 2^3

Número de experiencias es de 8

Se realizó una réplica, mediante estos se pudo obtener resultados confiables. Se realizaron 16 experiencias en total.

La siguiente tabla señala la variación de niveles de los factores seleccionados.

Tabla III-3 Variación de niveles de factores seleccionados

Factor (k)	Nivel mínimo	Nivel máximo
pH	2,5	4
Tiempo de concentración (min)	30	40
Temperatura de concentración (°C)	35	45

Fuente: Elaboración Propia, 2022

A continuación, se detallan las codificaciones respectivas a las variables del proceso experimental, con el fin de facilitar el diseño.

Tabla III-4 Codificación de variables de proceso

Factor (k)	Nivel mínimo	Nivel máximo
pH	-1	1
Tiempo de concentración	-1	1
Temperatura de concentración	-1	1

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla de diseño está constituida de la siguiente forma

Tabla III-5 Tabla de diseño experimental

Número de experiencia	pH	Tiempo de concentración	Temperatura de conc.	Rendimiento Observado
------------------------------	-----------	--------------------------------	-----------------------------	------------------------------

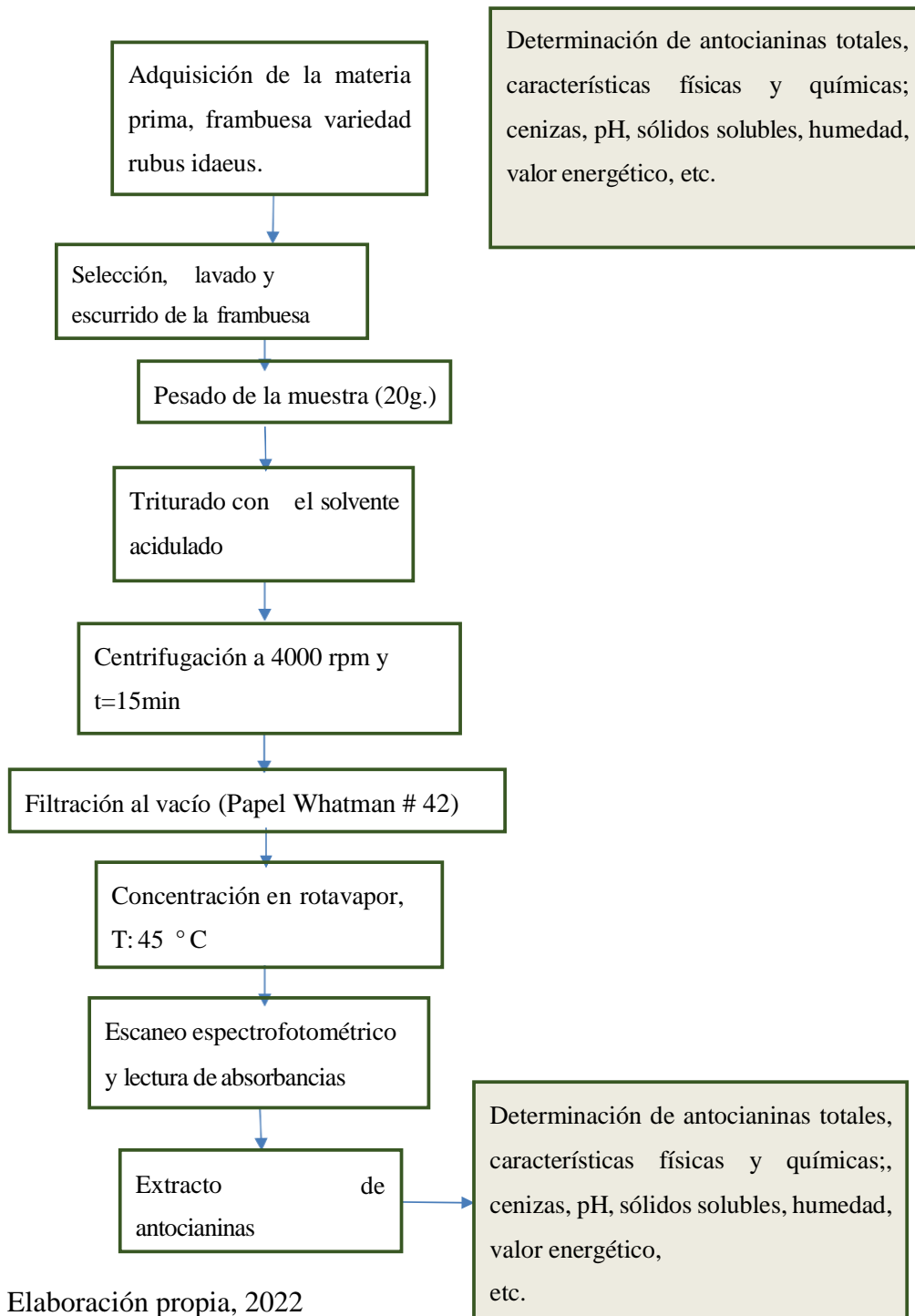
1	1	-1	1	X1
2	1	-1	1	X2
3	1	-1	-1	X3
4	1	-1	-1	X4
5	1	1	1	X5
6	1	1	1	X6
7	1	1	-1	X7
8	1	1	-1	X8
Número de Experiencia	pH	Tiempo de concentración	Temperatura	Rendimiento Observado
9	-1	-1	1	X9
10	-1	-1	1	X10
11	-1	-1	-1	X11
12	-1	-1	-1	X12
13	-1	1	1	X13
14	-1	1	1	X14
15	-1	1	-1	X15
16	-1	1	-1	X16

Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7. Diseño del proceso tecnológico seleccionado para la extracción de antocianinas

Una vez definido el método, técnica de extracción sólido – líquido con solvente etanol acidulado con ácido cítrico, se representa a continuación el diagrama de flujo del proceso experimental.

Tabla III-7 Diagrama de flujo del proceso experimental



Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, se detalla el proceso experimental por etapa

3.7.1. Recepción de la materia prima (frambuesa)

La frambuesa utilizada para el presente proyecto es proveniente del departamento de Tarija, las mismas fueron adquiridas en el mercado local.

Una vez compradas, fueron almacenadas en un refrigerador a temperatura de 2°C hasta su uso.

3.7.2. Selección de materia prima y lavado

En todas las experiencias, las frambuesas fueron previamente seleccionadas de acuerdo su estado físico.

El lavado se realizó mediante inmersión en agua con el fin de eliminar la existencia de residuos, tierra, insectos o cualquier cuerpo externo a este.

Ilustración III--3 Frambuesa utilizada en el proyecto



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7.3. Pesado de materia prima

Se procedió a pesar 20g de muestra en una balanza analítica. (Ver especificación técnica, en anexo II).

Ilustración III--4 Pesado de muestra de frambuesa



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7.4. Triturado

El triturado se realiza en una extractora (ver especificación técnica en anexo II) de acero inoxidable, en ella se introduce la muestra de frambuesa y el solvente acidulado según corresponda la experiencia.

Ilustración III-5 Mezcla triturada



3.7.5. Fuente: Elaboración Propia, 2022Centrifugado

La centrifugación se realiza a una velocidad de 4000 rpm por un lapso de 15min, (ver especificación técnica en anexo II)

Ilustración III-6 Centrifugado de la mezcla triturada



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7.6. Filtración al vacío

La muestra es llevada a filtración, en donde el líquido es extraído de la muestra gracias a la succión, para esto se usa un equipo de filtración al vacío y papel Whatman número 42.

Se realizó el armado del matraz Kitasato, se conectó la toma lateral que dispone a una manguera que conecta a la bomba para el filtrado al vacío. El embudo fue colocado en el Kitasato junto a un papel filtro, donde se colocó la muestra, para realizar el filtrado al vacío, se trabajó a una presión de 10 – 15 psia.

Ilustración III-7 Filtración de la mezcla



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.7.7. Concentración

La concentración se realizó en un rota-vapor (ver especificación técnica en anexo II), por un tiempo de 30 y 40min según sea la experiencia, a temperatura de 35°C y 45°C ya que el fin es lograr una concentración aceptable en donde el extracto esté entre la quinta o sexta parte de la muestra introducida.

La concentración fue iniciada con una muestra de 90ml a temperatura ambiente, la temperatura del baño maría se encontraba a temperaturas de 35°C y 45°C.

Ilustración III-8 Concentrado de la mezcla bruta



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7.8. Almacenamiento

Los extractos obtenidos fueron almacenados en frascos de vidrio y plástico color ámbar respectivamente a temperatura de 4°C en refrigerador, los frascos transparentes fueron introducidos en recipientes oscuros para evitar la degradación del pigmento por exposición a la luz.

3.7.9. Análisis cuantitativo de antocianinas

3.7.9.1. Preparación de solución buffer

Para las lecturas se prepararon las soluciones buffer de pH 1 y 4,5.



Fuente: Elaboración Propia, 2022

3.7.9.2. Uso del espectrofotómetro

Se usa un Espectrofotómetro UV- Visible. Se llevan todos los extractos a las mismas condiciones, evaporando hasta que se tenga 100 ml del extracto, para proceder con el análisis. Se toma 1 ml de la muestra y se diluye en con alcohol al 96 % hasta aforar un matraz de 50 ml.

3.7.9.3. Lectura de absorbancias

Para proceder con la lectura se tomó 0,06 ml de cada extracto y se diluyó con 15 ml de la solución buffer pH 1; se realizó el barrido espectral en el espectrofotómetro UV- VIS (ver anexo II), para determinar el λ óptimo y realizar las lecturas.

IV. CAPÍTULO

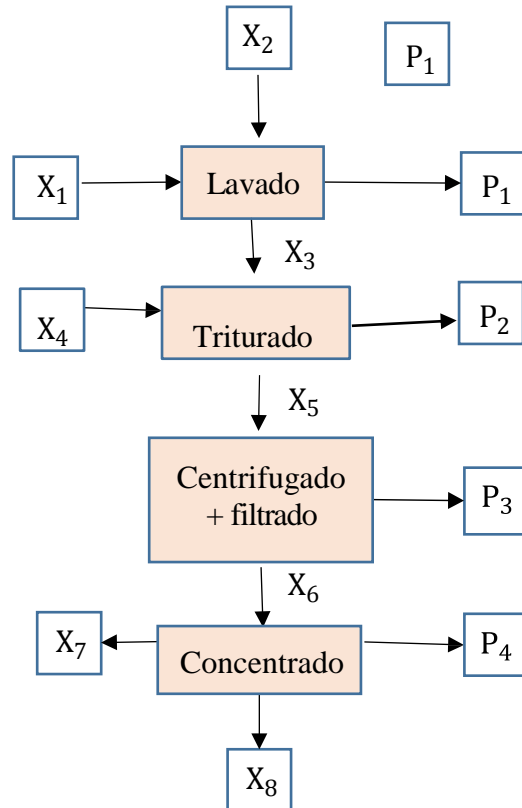
CÁLCULOS

Para el presente acápite se contemplaron los cálculos de balance de materia y energía.

4.1. Balance de materia

Para realizar el presente cálculo se plasma el diagrama de bloques del proceso, a continuación

Ilustración IV-0-1 Diagrama de bloques de proceso experimental



Fuente: Elaboración Propia, 2022

En donde:

x_1 = Materia prima, frambuesa seleccionada

x_2 = Agua

P_1 = Pérdidas por Lavado

x_3 = Fruta lavada

x_4 = Solvente acidificado

P_2 = Pérdidas por triturado

x_5 = Mezcla bruta

P_3 = Pérdidas por filtrado

x_6 = Mezcla filtrada

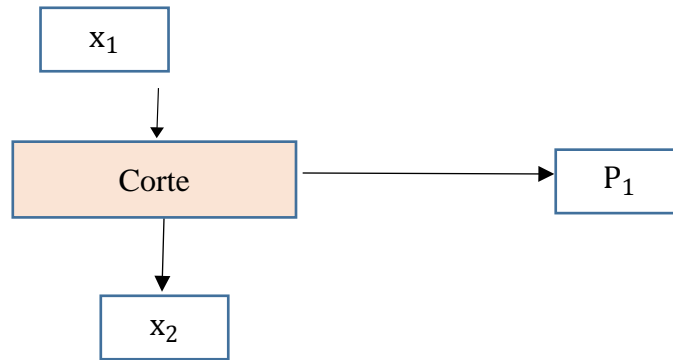
x_7 = Etanol recolectado

P_E = Pérdidas por concentración

x_8 = Mezcla concentrada

Para el balance de materia se contempla la experiencia que generó mayor cantidad de antocianinas, por lo cual se trabaja con 20,853 g de Frambuesa, variedad (rubus idaeus) con solvente acidulado de 100ml; pH de 2,5, tiempo de centrifugado de 20min a 4000rpm y temperatura de concentración de 40 °C por un tiempo de 45min.

4.1.1. Etapa de Corte



x_1 (Frambuesa) = 21,986g

x_2 (frambuesa cortada) = 20,428g

P_1 (pérdidas por corte, hojas) = 1,558 g

$$x_1 = x_1 + P_1$$

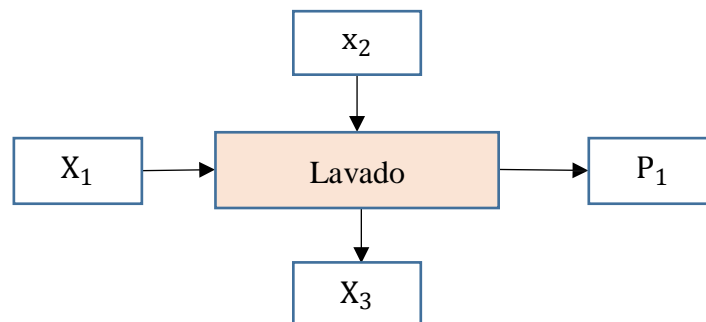
$$P_1 = x_1 - x_2$$

$$P_1 = 21,986 - 20,428$$

$$P_1 = 1,558\text{g}$$

$$\% P_1 = \frac{1,558\text{g}}{21,986\text{g}} * 100\% = 7,086\%$$

4.1.2. Etapa de lavado



x_1 (Frambuesa) = 20,853g

x_2 (agua) = 500g

P_1 (pérdidas por lavado + agua) =

X_3 (Frambuesa lavada) = 20,003g

Balance global:

$$X_1 + x_2 = P_1 + x_3$$

$$P_1 = x_1 + x_2 - x_3$$

$$P_L = 20,853 + 500 - 20,003$$

$$P_L = 500,83g$$

Porcentaje de pérdidas

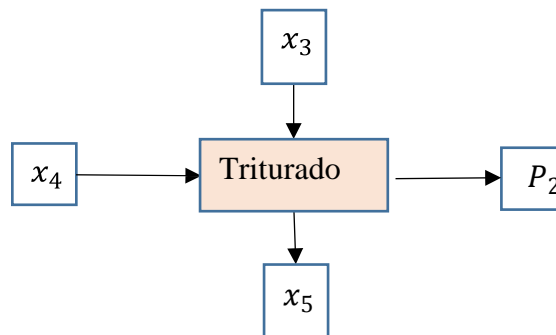
$$P_1 = x_1 - x_2$$

$$P_1 = 500,83 - 500$$

$$P_1 = 0,83g$$

$$\% P_1 = \frac{P_1}{x_2} * \frac{100\%}{20,853+500} = 500,85g * 100\% = 96,159\% \text{ de pérdidas}$$

4.1.3. Etapa de triturado



x_4 (Solvente acidificado)

x_5 (mezcla bruta)

P_2 (Pérdidas por triturado)

- Para la Frambuesa (x_3) se tomó la humedad y acidez dada en referencia y ensayos previos.

$$X_3 = A_{3H_2O} * x_3 + A_{3ácid} * x_3 + A_{3ant} * x_3 + A_{3sól} * x_3$$

$$1 = A_{3H_2O} + A_{3ácid} + A_{3ant} + A_{3sól}$$

Para el cálculo de la acidez y humedad se tomó en cuenta resultados de los análisis del CEANID, realizado para la variedad de Frambuesa.

$$A_{3H_2O} = \frac{88,61\%}{100\%} = 0,886$$

$$A_{3ácid} = \frac{0,92\%}{100\%} = 9,2 \times 10^{-3}$$

Solvente acidificado (x_4)

Contiene etanol 70°, agua y ácido cítrico; se utilizó 80ml de solvente, por lo tanto:

$$X_4 = (A_{Aetanol} + A_{4H_2O} + A_{4acidocitrico}) x_4$$

Solvente acidificado (x_4)

Contiene etanol 70°, agua y ácido cítrico; se utilizó 80ml de solvente, por lo tanto:

$$X_4 = (A_{Aetanol} + A_{4H_2O} + A_{4acidocitrico}) x_4$$

Se toma como referencia las densidades

Para el etanol, se utilizó 80ml

$$\rho_{etanol} = 0,793 \text{ g/ml}$$

$$m_{etanol} = 0,793 \text{ g/ml} * 61,6 \text{ ml}$$

$$m_{etanol} = 48,848 \text{ g}$$

$$\rho_{h_2o} = 1 \text{ g/ml}$$

$$\rho_{etanol} = \frac{M}{V}$$

$$m_{h_2o} = 1 \text{ g/ml} * 18,4 \text{ ml}$$

$$m_{h_2o} = 18,4 \text{ g}$$

$$X_4 = (m_{\text{etanol}} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{acidocitrico}})$$

$$X_4 = 48,845\text{g} + 15,4\text{g} + 9,984\text{g}$$

$$X_4 = 77,232\text{g}$$

$$A_{4\text{acidocitrico}} = 9,984\text{g}/77,232\text{g} = 0,129$$

$$A_{4\text{H}_2\text{O}} = 18,4/77,232 = 0,238$$

$$A_{4\text{etanol}} = 48,848/77,232 = 0,632$$

Para la mezcla bruta

$$X_5 = (A_{5\text{etanol}} + A_{5\text{H}_2\text{O}} + A_{5\text{acidocitrico}} + A_5) X_5$$

$$X_4 + X_3 = X_5 + P_2$$

$$P_2 = X_4 + X_3 - X_5$$

$$P_2 = 20,003 + 77,232 - 94,729 = 2,506$$

$$\% X_5 = 94,729/97,235 = 0,974$$

$$1 = C_{6\text{H}_2\text{O}} + C_{6\text{ácid}} + C_{6\text{OH}} + C_{6\text{HCl}} + C_{6\text{sól}} + C_{6\text{ant}}$$

Para el agua:

$$A_{5\text{H}_2\text{O}} * X_5 = (A_{4\text{H}_2\text{O}} * X_4 + A_{3\text{H}_2\text{O}} * X_3) / X_5$$

$$A_{5\text{H}_2\text{O}} = (0,238 * 77,233 + 0,836 + 20,003) 0,974 / 94,729 = 0,371$$

Para el ácido:

$$A_{5\text{ácid}} = (A_{5\text{ácid}} * X_4 + A_{5\text{ácid}} * X_3) 0,974$$

$$A_{5\text{ácid}} = (0,129 * 77,233 + 4,2 \times 10^{-3} * 20,003) 0,974 / 94,729 = 0,204$$

Para el etanol:

$$A_{5\text{etanol}} = \frac{0,612 * 77,232 * 0,974}{94,729\text{g}} = 0,502$$

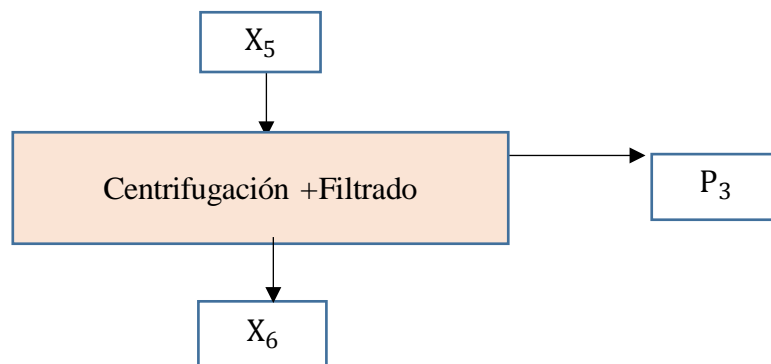
$$A_{5sol} = 1 - A_{5H2O} - A_{5etanol} - A_{5acido}$$

$$A_{5sol} = 1 - 0,371 - 0,104 - 0,502$$

Para sólidos

$$A_{5sól} = 0,023$$

4.1.4. Etapa de centrifugación – filtración



$$x_5 \text{ (Mezcla bruta)} = 94,72\text{g}$$

$$x_6 \text{ (Mezcla filtrada)} = 73,421\text{g}$$

$$P_3 \text{ (Pérdidas por filtrado)} = 21,308\text{g}$$

$$X_5 = x_6 + P_3$$

$$P_3 = x_5 - x_6$$

$$P_3 = 94,729 - 73,421$$

$$P_3 = 21,308 \text{ g}$$

$$A_{x6} = 0 \text{ } 73,421 / 94,729 = 0,775 \text{ g}$$

El grado alcohólico se determinó con un alcoholímetro, dando el valor de 70°GL, la densidad del extracto bruto es:

$$\rho_{x_6} = 0,804 \text{ g/ml}$$

$$\rho_{OH} = 0,793 \text{ gr/ml}$$

Teniendo estos datos, se procede a realizar la corrección

$$A = \frac{0.82 \text{ ml OH}}{\text{ml sol.}} * \frac{0.793 \text{ ml Oh} - 0.809}{0.804 \text{ ml Soluc.}}$$

$$x_{6OH} = x_6 * A_{6OH}$$

$$x_{6OH} = 73,421 * 0,809 = 59,382 \text{ g}$$

Para el ácido se tomó en cuenta los resultados de análisis realizados en CEANID, del extracto obtenido

$$X_6 * A_{6\text{ácid}} = x_8 * A_{8\text{ácid}} = x_6$$

$$A_{6\text{ácid}} = \frac{x_{8\text{acid}}}{x_6} = \frac{8.95 * 0.0759}{73.421} = 9,263 \times 10^{-3}$$

$$X_{6\text{ácid}} = 73,421 * 9,263 \times 10^{-3} = 0,68 \text{ g}$$

Para sólidos

$$X_6 * C_{6\text{sól}} = x_8 * C_{8\text{sól}} = x_{6\text{sól}}$$

$$C_{6\text{sol}} = \frac{x_{8\text{sol}}}{x_6} = \frac{2,636}{73,421} = 0.036$$

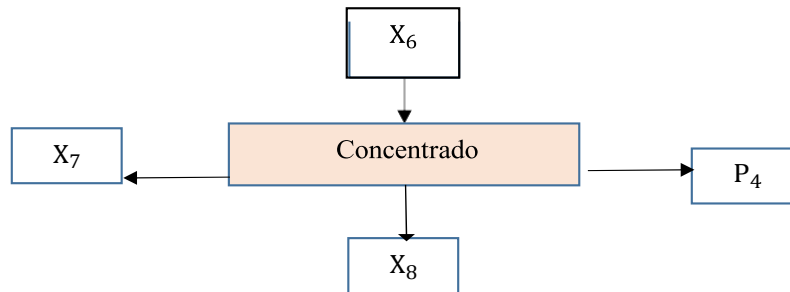
Para la humedad

$$A_{6H_2O} = 1 - A_{6\text{sol}} - A_{6\text{ácid}} - A_{6\text{oh}}$$

$$A_{6H_2O} = 1 - 0,036 - 0,809 - 9,263 \times 10^{-3}$$

$$A_{6H_2O} = 0,146$$

4.1.5. Etapa de concentración



Extracto concentrado de Antocianinas (x_8) 8,96g

Se toman los datos obtenidos de los análisis realizados en CEANID

Para el ácido

$$A_{8\text{ácid}} = \frac{7,59\%}{100\%} = 0,0759$$

$$X_{8\text{ácid}} = 8,96 * 0,0759 = 0,68\text{g}$$

Para la humedad

$$A_{8\text{humedad (OH-H}_2\text{O)}} = \frac{62,99\%}{100\%} = 0,629$$

$$A_{8\text{humedad (OH-H}_2\text{O)}} = 8,96 * 0,629 = 5,644\text{g}$$

Para sólidos

$$A_{8\text{sól}} = 8,96 - 0,68 - 5,644 = 2,636$$

$$A_{8\text{sól}} = 2,636 / 8,96 = 0,294\text{g}$$

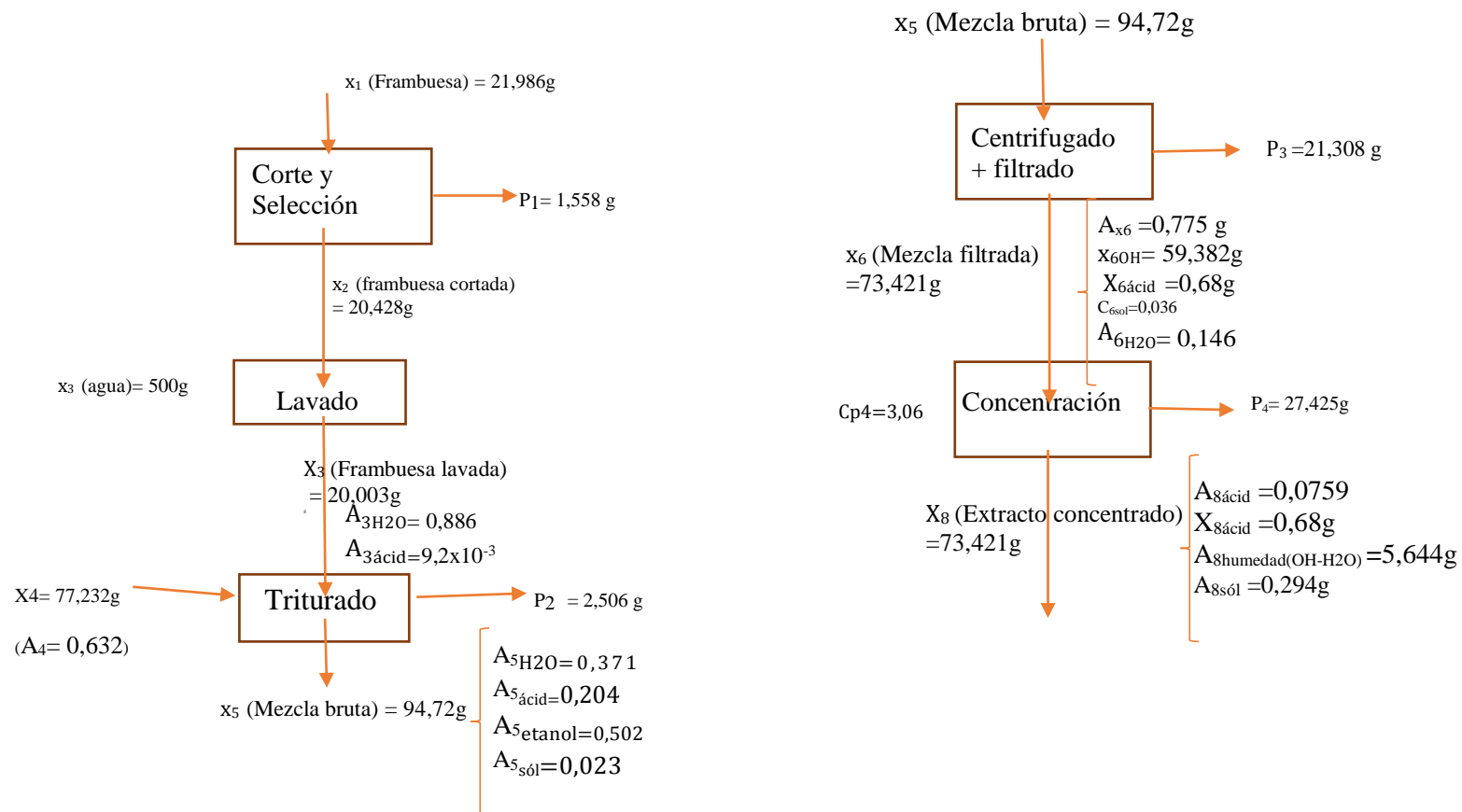
Para Pérdidas en el Concentrado

$$P_4 = x_6 - x_7 - x_8$$

$$P_4 = 73,421 - 37,036 - 8,96 \quad P_4 = 27,425\text{g}$$

$$Cp_4 = \frac{27,425\text{g}}{8,96\text{g}} = 3,06$$

Ilustración IV-2 Esquema del balance de materia



Fuente: Elaboración Propia, 2022

4.2. Balance de energía

Este apartado se enfoca en el balance de energía aplicado a la centrífuga, rota-evaporador y evaporador condensación, para lo cual se recabaron los datos y especificaciones necesarias de los equipos.

- Centrífuga

Se trabaja con una velocidad de 5000 rpm; por lo cual se procede al cálculo de la potencia de trabajo

Datos:

Velocidad trabajo = 5000 rpm

Potencia equipo = 550 watts

Velocidad equipo = 10000 rpm

Potencia trabajo

$$Q_1 = \frac{550W * 5000rpm}{10000rpm} = 275 W = 0,275 kw$$

- Rota-evaporador

La bomba trabaja a 60 cmHg, por lo que se realiza la conversión correspondiente:

$$P_{sist} = P_{atm} - P_{red}$$

$$P_{sist} = 1atm - 0,7894 atm$$

$$P_{sist} = 0,2106atm = 21,3316 Kpa$$

Datos:

$$T_{\text{baño}} : 45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{sistema}} : 35^{\circ}\text{C}$$

$$T_i : 17^{\circ}\text{C}$$

$$\text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} : 3,5 \text{ kg}$$

$$\text{masa}_{\text{extracto}} : 0,0007 \text{ kg}$$

$$\text{masa}_{\text{OH}} : 0,04 \text{ kg}$$

$$C_{p\text{OH}} : 2,513 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p\text{H}_2\text{O}} : 4,186 \text{ kJ/kg}^{\circ}$$

$$C\lambda_{\text{OH}} : 845 \text{ kJ/kg}$$

Balance en el sistema de evaporación

$$Q_{\text{Entregado}} = Q_{\text{absorbido}}$$

$$Q_{\text{Entregado}} = m_{\text{bañoH}_2\text{O}} * \Delta T * C_{p\text{H}_2\text{O}}$$

$$Q_{\text{Entregado}} = 3,5 \text{ kg} * (45-17)^{\circ}\text{C} * 4,186 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{Entregado}} = 410,228 \text{ kJ}$$

Sabiendo que $Q_{\text{Entregado}} = Q_{\text{absorbido}}$

$$Q_{\text{absorbido}} = (\Delta T * C_{p\text{OH}} * m_{\text{OH}}) + (\Delta T * m_{\text{Extracto}} * C_{p\text{Extracto}})$$

$$C_{p\text{Extracto}} = \frac{Q_{\text{absorbido}} - (\Delta T * C_{p\text{OH}} * m_{\text{OH}})}{\Delta T * m_{\text{Extracto}}}$$

$$C_{p\text{Extracto}} = \frac{410,228 \text{ kJ} - ((35-17)^{\circ}\text{C} * 2,513 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 0,04 \text{ kg})}{(45-17)^{\circ}\text{C} * 0,007 \text{ kg}}$$

$$C_{p\text{Extracto}} = 2092,487 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_2 = 410,228 \text{ kj} \frac{1\text{kw}}{3600\text{kj}}$$

$$Q_2 = 0,1139 \text{ Kw}$$

En el Anexo se detalla la potencia necesaria para el baño; según las especificaciones del equipo es de 1320 W; por lo que el tiempo demandado es:

$$Q_{\text{Entregado}} = \text{Potencia} * \text{tiempo(s)}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{410,228\text{kj}}{1,3201\text{kj/s}}$$

$$\text{Tiempo} = 310,778 \text{ s}$$

- Evaporación – condensación

Temperatura de salida del serpentín es de 20°C

$$Q_3 = Q_4$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{Entregado}}$$

$$(\lambda_{\text{OH}} * m_{\text{OH}}) + (m_{\text{OH}} * C_{p\text{OH}} * \Delta T) = m_{\text{condensadorH2O}} * \Delta T * C_{p\text{H2O}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = \frac{(\lambda_{\text{OH}} * m_{\text{OH}}) + (m_{\text{OH}} * C_{p\text{OH}} * \Delta T)}{\Delta T * C_{p\text{H2O}}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = \frac{\left(845 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0,04\text{kg}\right) + \left(0,041\text{kg} * 2,513 * (17 - 20)^\circ\text{C}\right)}{(20 - 17)^\circ\text{C} * 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = 2,667 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{entregado4}} = 2,667\text{kg} * 4,186\text{kJ} * (20 - 17)^\circ\text{C}$$

$$\text{kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 33,49 \text{ kj} * 1\text{kw}$$

$$3600\text{kj}$$

$$Q_4 = 0,009 \text{ kw} = 9,305 \times 10^{-3} \text{ Kw}$$

V. CAPÍTULO ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1. Materia Prima

5.1.1. Análisis de Materia Prima (frambuesa)

En instalaciones del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), se realizó el análisis fisicoquímico de la frambuesa, la cual es la misma que se utiliza como materia prima en el presente proyecto; los resultados son los siguientes:

Tabla V-1 Resultados de análisis fisicoquímico a la materia prima

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Cenizas	%	0,34
Fibra	%	3,34
Grasa	%	0,21
Hidratos de Carbono	%	5,88
Humedad	%	88,61
pH (20 °C)		2,97
Proteína total (Nx6,25)	%	1,62
Valor energético	Kcal/100 g	31,89

Fuente: CEANID, 2022

5.1.2. Antocianinas en Frambuesa

La cantidad de antocianinas totales en la frambuesa se determina siguiendo la metodología señalada en el *Capítulo III*, sin embargo, como se busca conocer la cantidad máxima de antocianinas presentes, se trabaja con HCl concentrado como agente acidificante y como solvente etanol, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla V-2 Antocianinas Totales presentes en la frambuesa

Pruebas	Longitud de onda (nm)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	510	700	510	700	mg/l	mg/l
1°	0,754	0,003	0,211	0,009	4593,012	4584,654
2°	0,755	0,003	0,213	0,008	4576,279	

Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.2. Extracto Obtenido

5.2.1. Análisis Físicoquímico del Extracto Obtenido

Tal como se realizó con la materia prima, se procedió a realizar el análisis físicoquímico del extracto concentrado de antocianinas de frambuesa obtenido en el proceso experimental en instalaciones del CEANID, los datos obtenidos se detallan en la siguiente tabla

Tabla V-3 Análisis físicoquímico del extracto de antocianinas obtenido

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Cenizas	%	6,43
Acidez (acid.cítrico)	%	6,44
Sólidos solubles	°Brix	6,20
Proteína total (Nx6,25)	%	0,73
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS
Humedad	%	62,99
pH (20 °C)	Unidades de pH (0 a 14)	1,14

Fuente: CEANID, 2022

5.2.2. Antocianinas presentes en el Extracto Obtenido

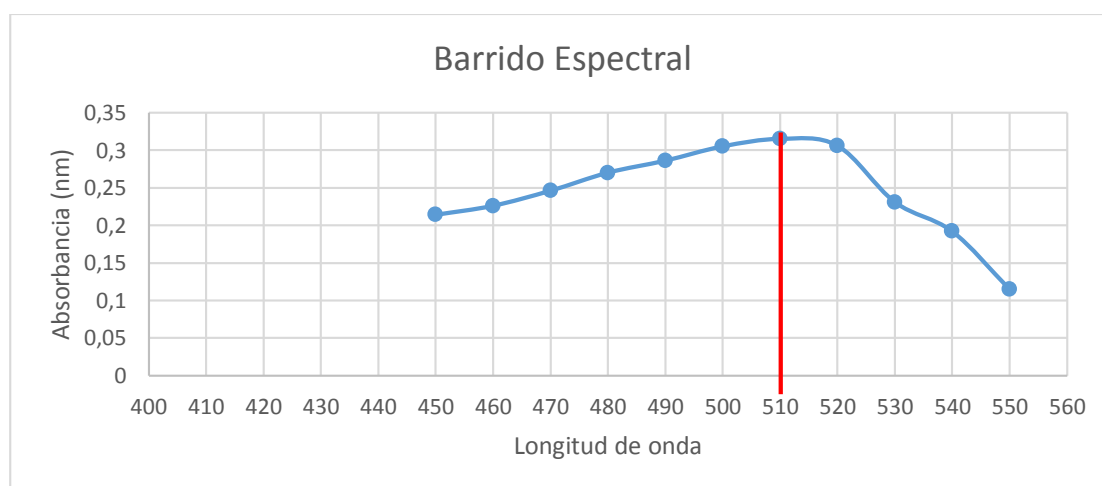
5.2.2.1. Método de pH diferencial

Para determinar la cantidad de antocianinas presentes en el extracto obtenido, se utilizó el método de pH diferencial, en el cual las antocianinas desarrollan transformaciones a nivel de su estructura, debido al cambio de pH al que son sometidas al utilizar dos soluciones buffer, las cuales nos permiten conocer la absorbancia al estar en el espectrofotómetro, estas son pH 1 y pH 4,5.

5.2.2.2. Cuantificación

Para la cuantificación de antocianinas presentes, previamente se debe determinar la longitud de onda máxima a trabajar, por lo cual se realiza un barrido espectral.

Ilustración V- 0-1 Gráfica de cuantificación de las antocianinas



Fuente: Elaboración Propia, 2022

El mismo se realizó con una alícuota de 0,06ml con 15ml de solución buffer pH 1 y pH 4,5 siendo estas lecturas en una longitud de onda de 510nm en el Espectrofotómetro UV-visible utilizando agua destilada como blanco.

5.2.2.3. Cuantificación total de antocianinas

La antocianina total se calcula a través de la lectura de las absorbancias, estas fueron leídas 20 min después de preparada la muestra, las lecturas se realizaron a 510 y 700 longitud de onda, en ambas soluciones buffer para calcular la concentración final de las mismas, se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4,5}$$

Debido a que la composición de la muestra es desconocida, se calcula el contenido como cianidi-3-glucósido, tomando para esta su respectivo peso molecular y extinción molar

$$A_T = \frac{A * P_m * D_f * 1000}{\epsilon * l}$$

A_T = Antocianinas totales

A= Absorbancia

P_m = Peso molecular 449,2

D_f = Factor de dilución 251

ϵ = Coeficiente de extinción molar 26900

1000 = Factor de conversión de gramos a miligramos

Tabla V-4 Resultados de análisis de Antocianinas

Código	Longitud de onda (λ)				Resultado	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	510	700	510	700	mg/l	mg/l
x1	0,463	0,259	0,099	0,097	846,667	829,901
x1.R	0,461	0,261	0,098	0,092	813,136	
x2	0,589	0,02	0,219	0,029	1588,548	1573,878
x2.R	0,589	0,023	0,222	0,028	1559,208	
x3	0,3	0,001	0,004	0,043	1056,238	1060,429
x3.R	0,3	0,001	0,006	0,039	1064,621	
x4	0,332	0,021	0,044	0,002	1127,492	1135,875

x4.R	0,332	0,021	0,044	0,006	1144,258	
y1	0,955	0,006	0,355	0,001	2493,895	2491,799
y1.R	0,954	0,007	0,354	0,001	2489,704	
y2	0,339	0,005	0,036	0,005	1228,086	1221,799
y2.R	0,339	0,005	0,039	0,005	1215,512	
y3	0,899	0,008	0,246	0,005	2682,509	2684,605
y3.R	0,901	0,008	0,247	0,005	2686,7	

Código	Longitud de onda (λ)				Resultado	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	510	700	510	700	mg/l	mg/l
y4	0,718	0,003	0,158	0,007	2363,961	2359,769
y4.R	0,718	0,003	0,158	0,005	2355,578	

Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.3. Rendimiento del proceso

5.3.1. Rendimiento de antocianinas obtenido

El rendimiento de antocianinas se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\%Rendimiento_{observado} = \frac{CA_{extracto}}{CA_{frambuesa}} * 100\%$$

Donde:

$CA_{extracto}$: Cantidad de Antocianinas presentes en el extracto

$CA_{frambuesa}$: Cantidad de Antocianinas totales presentes en la frambuesa

Tabla V-5 Rendimiento observado de antocianinas

Código	pH	Tiempo de concentración	Temperatura	% Rendimiento
x1	4	40	45	18,467
x1.R	4	40	45	17,736
x2	4	40	35	34,649
x2.R	4	40	35	34,009
x3	4	30	45	23,039
x3. R	4	30	45	23,221
x4	4	30	35	24,593
x4. R	4	30	35	24,958
y1	2,5	40	45	54,397
y1. R	2,5	40	45	54,305
y2	2,5	40	35	26,787
y2. R	2,5	40	35	26,513
y3	2,5	30	45	58,511
y3. R	2,5	30	45	58,602
y4	2,5	30	35	51,563
y4. R	2,5	30	35	51,379

Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.3.2. Rendimiento Teórico

El rendimiento teórico se determina mediante el uso del programa SPSS V 22.0, con el fin de realizar el tratamiento de las variables seleccionadas en el proceso experimental y los resultados obtenidos.

5.3.2.1. Análisis de Varianza Univariante

Teniendo las variables del proceso establecidas, se procede a realizar el Análisis de Varianza Univariante, el cual nos mostrará la influencia de la temperatura de concentración (35 y 45) °C, tiempo de concentración (30 y 40)min y pH del solvente (2,5 y 4) las cuales son las variables independientes y nuestra variable de respuesta será el rendimiento, que es lo que se tiene por fin, determinar.

Ilustración V - 0-2 Factores Inter-Sujeto

Factores inter-sujetos		
		N
Ph	-1,00	8
	1,00	8
Tc	-1,00	8
	1,00	8
T	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Ilustración V-3 Pruebas de efectos inter sujetos

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3261,662 ^a	6	543,610	15,765	,000
Interceptación	21223,318	1	21223,318	615,498	,000
Ph	2056,282	1	2056,282	59,634	,000
Tc	150,081	1	150,081	4,352	,067
T	71,517	1	71,517	2,074	,184
Ph * Tc	281,426	1	281,426	8,162	,019
Ph * T	693,256	1	693,256	20,105	,002
Tc * T	9,101	1	9,101	,264	,620
Error	310,334	9	34,482		
Total	24795,314	16			
Total corregido	3571,996	15			

a. R al cuadrado = ,913 (R al cuadrado ajustada = ,855)

Fuente: Elaboración Propia, 2022

La Ilustración 0-3 *Pruebas de efectos inter sujetos* señala que todas las variables introducidas son significativas, además de la interacción entre estas: por tal motivo son utilizadas para la determinación del modelo matemático.

Tabla V-6 Codificación de variables

pH	Tiempo de concentración	Temperatura	Rendimiento Observado
1	-1	1	18,47
1	-1	1	17,74
1	-1	-1	34,65
pH	Tiempo de concentración	Temperatura	Rendimiento Observado
1	-1	-1	34,01
1	1	1	23,04
1	1	1	23,22
1	1	-1	24,59
1	1	-1	24,96
-1	-1	1	54,40
-1	-1	1	54,31
-1	-1	-1	26,79
-1	-1	-1	26,51
-1	1	1	58,51
-1	1	1	58,60
-1	1	-1	51,56
-1	1	-1	51,38

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Los resultados de realizar la Regresión Lineal y la Anova se reflejan en las siguientes tablas:

Ilustración V-4 Resumen del modelo matemático del rendimiento

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,836 ^a	,699	,590	9,88620

a. Predictores: (Constante), TcT, PhTc, Tc, Ph

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Ilustración V-5 Resultados de Análisis de Varianza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2496,890	4	624,222	6,387	,007 ^b
	Residuo	1075,106	11	97,737		
	Total	3571,996	15			

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Predictores: (Constante), TcT, PhTc, Tc, Ph

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Los coeficientes para determinar el Modelo Matemático del Modelo del Rendimiento del extracto de antocianinas de frambuesa son todos los trabajados y las combinaciones realizadas con los mismos. La tabla de coeficientes nos señala

Ilustración V-6 Coeficientes del modelo matemático

		Coeficientes ^a						
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			95,0% intervalo de confianza para B	
Modelo		B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	36,421	2,472		14,736	,000	30,981	41,860
	Ph	-11,337	2,472	-,759	-4,587	,001	-16,776	-5,897
	Tc	3,063	2,472	,205	1,239	,241	-2,377	8,503
	PhTc	-4,194	2,472	-,281	-1,697	,118	-9,634	1,246
	TcT	-,754	2,472	-,050	-,305	,766	-6,194	4,686

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Esta tabla nos señala los coeficientes de la ecuación matemática, quedando de la siguiente

$$Y = 36,421 - 11,337X_1 + 3,063X_2 - 4,194X_3 - 0,754X_4$$

Donde:

Y: Rendimiento de antocianinas

X₁: pH

X₂: Tiempo de concentración

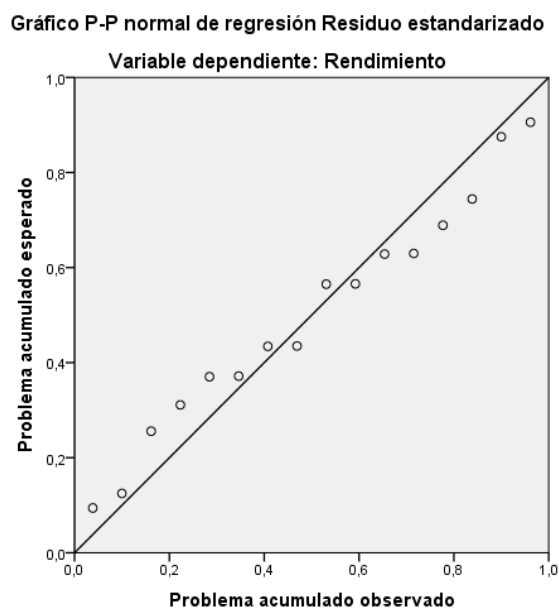
X₃: pH*Tiempo de concentración

X₄: Tiempo de concentración*Temperatura

Todas las variables expresadas en la ecuación determinan la recuperación porcentual de antocianinas de frambuesa.

A continuación, la gráfica de la regresión lineal nos señala los puntos del modelo seleccionado, como estos no son tan dispersos, el modelo es correcto.

Ilustración V-7 Gráfico del modelo matemático



Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

Mediante el ajuste del modelo matemático, se obtiene el rendimiento del modelo, tomando en cuenta las variables significativas. A través de este se determina el rendimiento porcentual respecto del rendimiento del modelo y observado.

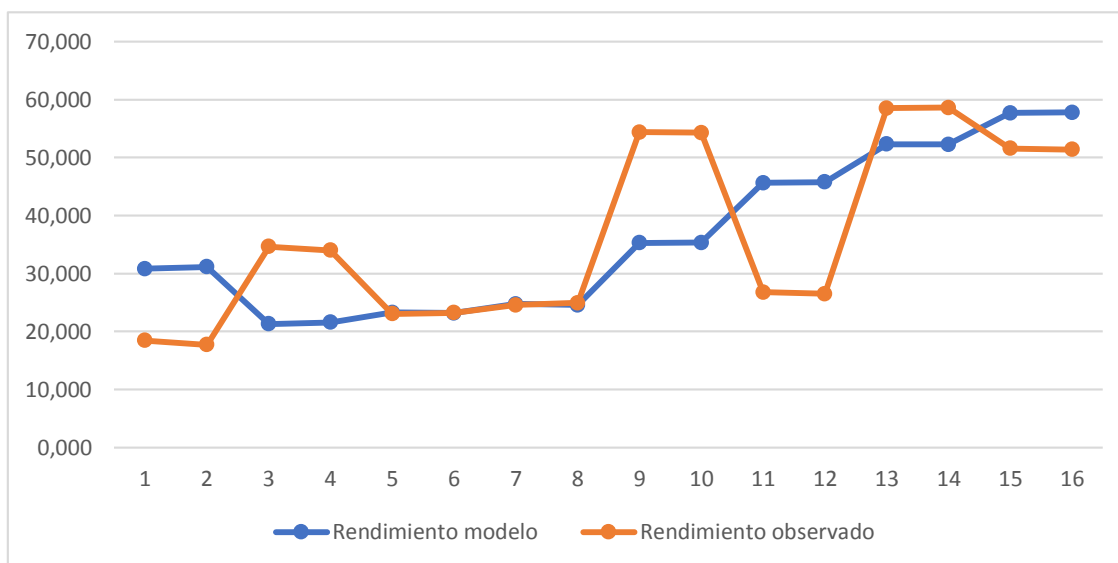
$$\%R = \frac{R_{observado}}{R_{modelo}} * 100\%$$

Tabla V-7 Resultado de Rendimiento porcentual de Antocianinas

Rendimiento modelo	Rendimiento observado	Error	%R Antocianinas
30,834	18,47	12,364	59,901
31,166	17,74	13,426	56,920
21,285	34,65	-13,365	162,793
21,576	34,01	-12,434	157,631
23,271	23,04	0,231	99,007
23,188	23,22	-0,032	100,136
24,759	24,59	0,169	99,319
24,593	24,96	-0,367	101,493
35,281	54,4	-19,119	154,191
35,323	54,31	-18,987	153,754
45,637	26,79	18,847	58,702
45,761	26,51	19,251	57,931
52,327	58,51	-6,183	111,816
52,286	58,6	-6,314	112,076
57,679	51,56	6,119	89,391
57,763	51,38	6,383	88,950

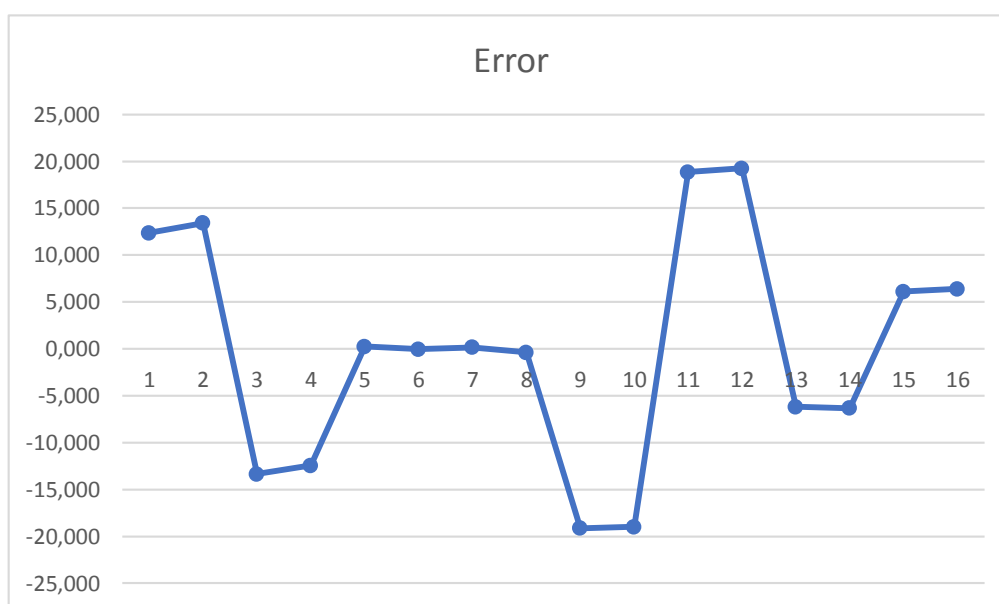
Fuente: Elaboración Propia, 2022

Ilustración V-8 Gráfica del rendimiento del modelo, porcentual y obtenido



Fuente: Elaboración Propia, 2022

Ilustración V-9 Gráfica del error



Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.4. Color del Extracto

El color del extracto obtenido se define a través de la orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo presentes en la molécula, por lo que a mayor metoxilación, mayores pigmentos rojos se harán presentes.

Ilustración V-10 Extracto obtenido



Fuente: Elaboración Propia, 2022

El extracto obtenido tiene una coloración de rojo intenso; su λ máximo es de 510 nm y en esa longitud de onda la Tabla 0-8 *Tinte visible según la longitud de onda* nos indica que el tinte visible se aproxima a un rojo fuerte u intenso

Tabla V-8 Tinte visible según la longitud de onda

Longitud de onda máximo	Absorbancia en	Tinte visible
400 – 435	Violeta	Amarillo - verde
- 480	Azul	Amarillo
- 490	Azul – verde	Naranja
- 500	Verde – azul	Rojo
- 560	Verde	Púrpura

Fuente: (Marcano, 2018)

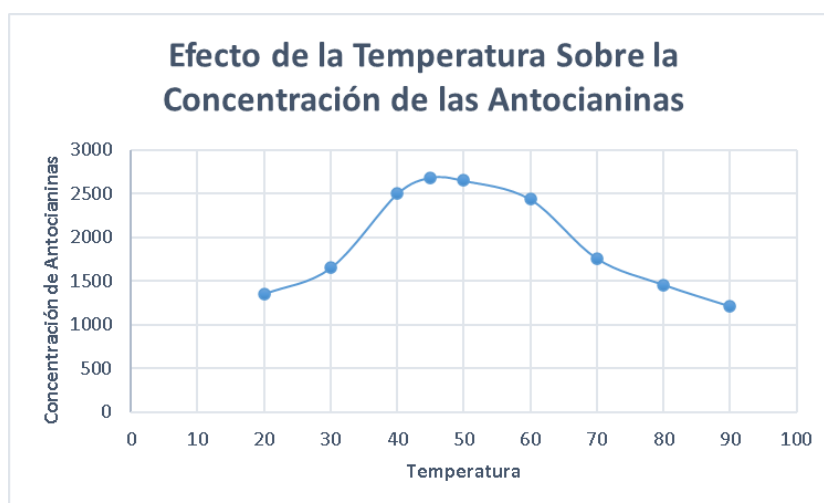
5.5. Antocianinas en el Extracto

Para poder determinar el tipo de antocianina predominante en el extracto es necesario realizar una comparación con los analitos de las antocianinas presentes en la longitud de onda máximo de absorbancia, dicho análisis no es posible debido a la falta de equipos y limitantes en los ensayos, no obstante, como un aproximado se conocen estudios realizados por (Y.Salinas - Moreno, Peña-Varela, & Rios Sanchez, 2009), los cuales al realizar la extracción de antocianinas de frambuesa, determinaron que la cianidina-3- glucósido está presente en un 71,92 %; por otro lado, se tiene que la cianidina tiene su absorbancia óptima en el rango de 506nm, el cual es muy aproximado a la longitud máxima determinada en el modelo, por lo cual se considera a la cianindina-3-glucósido como la antocianina predominante en el extracto obtenido de antocianinas de frambuesa.

5.5.1. Efecto de la temperatura

Para determinar el efecto de la temperatura sobre la cantidad de antocianinas extraídas se procedió a concentrar el extracto a temperatura de 20-90 °C en intervalos de 10°C, para luego lecturar las mismas en la longitud de onda máxima previamente determinada.

La siguiente gráfica muestra el efecto sobre estas, en donde al exponer el extracto a temperatura de 50°C se ve una mejora en la cantidad de antocianinas, no obstante, cuando se eleva más la temperatura, estas se degradan.



Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.6. Resultados del Balance de Materia y Energía

5.6.1. Balance de Materia

Tabla V-9 Resultados del balance de materia

Balance de Materia					
Corriente	Descripción	Gramos(g)	Fracciones		
X1	Materia prima (frambuesa)	20,853			
Balance de Materia					
Corriente	Descripción	Gramos(g)	Fracciones		
X ₂	Agua	500			
P ₁	Pérdidas por lavado	500,85			
X ₃	Fruta Lavada	20,003	A _{3H2O}	Fracción másica de agua	0,886
			A _{3ácid}	Fracción másica de ácido	9,2x10 ⁻³
			A _{3sol}	Fracción másica de sólidos	0,105
X ₄	Solvente acidificado	77,232	A _{4OH}	Fracción másica OH	0,632
			A _{4acid}	Fracción másica del ácido cítrico	0,129
			A _{4H2O}	Fracción másica de agua	0,238
X ₅	Mezcla bruta	94,729	A _{5H2O}	Fracción másica de agua	0,371
			A _{5ácid}	Fracción másica de ácido	0,104
			A _{5OH}	Fracción másica de OH	0,502
Balance de Materia					

Corriente	Descripción	Gramos(g)	Fracciones		
P ₂	Pérdidas por triturado	2,506			
X ₆	Mezcla Filtrada	73,421	A _{6OH}	Fracción másica de OH	0,809
			A _{6ácid}	Fracción másica de ácido	9,263x10 ⁻³
			A _{6sól}	Fracción másica de sólidos	0,036
			A _{6H₂O}	Fracción másica de agua	0,146
P ₃	Pérdidas por filtrado	21,308			
X ₇	Etanol recolectado	37,036	A _{7OH}	Fracción másica de OH	0,725
			A _{7H₂O}	Fracción másica de agua	0,275
X ₈	Mezcla concentrada	8,96	A _{8ácid}	Fracción másica de ácido	0,076
			A _{8Humedad}	Fracción másica de humedad	0,672
			A _{8sól}	Fracción másica de sólidos	0,294
P ₄	Pérdidas en el concentrado	27,425			

Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.6.2. Resultado de balance de energía

Tabla V-10 Resultado de Balance de Energía

Balance de energía		
Equipo	Descripción	Kilowatt (kw)
Centrífuga	Q1	0,275
Rota-evaporador	Q2	0,114
	Q3	0,009

Fuente: Elaboración Propia, 2022

5.7. Análisis de Costos

5.7.1. Costo del Proyecto

El costo del proyecto se determina a partir de una hoja de costos la cual contempla todos los gastos realizados en este, como ser gasto en materia prima, reactivos, análisis de laboratorio y uso de equipos.

Tabla V-11 Costos en materia prima y solventes

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Materia Prima	Frambuesa	kg	4	55	220
Solventes	Etanol	L	8	12	96
	Metanol	L	0,2	200	40
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Reactivos	Ácido cítrico	Kg	0,5	25	12,5
	HCl concentrado	MI	50	0,4	20
	Sol. Buffer pH 1	L	0,5	200	100
	Sol. Buffer pH 4,5	L	0,5	200	100
	Agua destilada	L	3	5	15
Sub total					603,5

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla V-12 Costos de Materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Papel filtro	Whatman 42	pliegue	4	5	20
Botellas de vidrio	Plástico 50ml	pza	8	2	16
	Vidrio 20ml	pza	24	4	96
	Vidrio 150ml	pza	7	5	35
Frascos	Vidrio	pza	10	3	30
Subtotal (bs)					197

Fuente: Elaboración propia, 2022

Los costos en análisis se muestran contemplando la rebaja del 70% del cual son beneficiarios alumnos que se encuentran realizando proyecto de grado, de estos se realizaron dos análisis, para la materia prima y el extracto obtenido.

Tabla V-13 Costos en análisis

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Ceniza	2	21	42
Hidratos de Carbono	2	12	24
Humedad	2	12	24
pH	2	6	12
Proteína total	2	30	60
Sólidos solubles	2	6	12
Valor energético	2	6	12
Acidez	2	9	18

Sub total			204
------------------	--	--	-----

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Tabla V-14 Costos en material de apoyo

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Pasajes	Meses	10	2	20
Internet	Meses	10	150	1500
Papel	Resma	0,5	30	15
Impresión	Hoja	500	0,5	250
Anillado	-	4	5	20
Empastado	-	3	50	150
Mano de obra	Meses	10	1500	15000
Sub total (Bs)				16955

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla V-15 Costo total del proyecto

Descripción	Costo (Bs)
Detalle de costos de materia prima, reactivos y solventes	603,5
Detalle de costos de materiales	197
Detalle de costos de análisis realizados	204
Detalle de material de oficina y apoyo	16955
Gastos extras = 0,15% del total	898,425
Total	18857,475

Fuente: Elaboración propia, 2022

5.7.2. Costo de Producción del Extracto de Antocianinas

Los costos de producción se estiman a partir del extracto obtenido con mayor rendimiento, el cual es a pH 2.5, tiempo de 30 min a una temperatura de 45°C, en donde se obtiene 8,96 g de extracto a partir de 20,853 g de frambuesa.

Tabla V-16 Consumo energético de los equipos

Consumo energético				
Equipo	Potencia (kw)	Tiempo (hr)	Energía (kw/hr)	Valor (Bs)
Centrífuga	0,275	0,333	0,091575	0,054945
Filtración y bomba	0,114	1	0,114	0,0684
Rota-vapor	0,009	0,6666	0,0059994	0,00359964
Total Bs.				0,12694464

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Tabla V-17 Requerimiento de material

Requerimiento de materiales				
Solventes y materia prima	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (Bs)	Total (Bs)
Frambuesa	0,02	kg	55	1,1
Etanol 96°	0,08	litro	12	0,96
Ácido cítrico	0,01795	kg	25	0,44875
Agua				
Baño rota-vapor	3,75	litro	0,07	0,2625
Agua para refrigerar	28,125	litro	0,07	1,96875
Solventes y materia prima	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (Bs)	Total (Bs)
Lavado	0,5	litro	0,07	0,035
Material de laboratorio				
Papel filtro	0,125	pliegue	5	0,625
Botella	1	vidrio 20ml	4	4
Costo energético				0,127
Costo total Bs				9,527

Fuente: Elaboración Propia, 2022

El costo total de producción de 8,96 g de extracto de frambuesa es de Bs 9,527 a partir de 20,853 g de frambuesa; el factor de seguridad a tomar es de 1,5 siendo el costo de producción de Bs 14,29 y el costo de cada gramo de extracto de antocianina a Bs. 1,595.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Realizada la experimentación, cabe mencionar las siguientes conclusiones:

- La experiencia que demostró un mejor rendimiento fue de 55,65 % a pH 2.5, tiempo de 30 min a una temperatura de 45°C, en donde a través del balance de materia realizado para esta experiencia se obtiene 8,96 g de extracto a partir de 20,853 g de frambuesa, obteniéndose 2684,605 mg de antocianina por litro con alcohol.
- La experiencia que menos rendimiento de antocianinas pH 4 por un tiempo de concentración de 30 min.
- Las antocianinas totales presentes en la frambuesa son 4584,654 mg/l
- La exposición del extracto a altas temperaturas genera que estas se degraden, en cambio a temperaturas bajas, estas permanecen estables.
- Se logró observar, que la frambuesa en un mayor tiempo de madurez, tendrá mayor rendimiento al momento de extraer las antocianinas, en base al método empleado.
- Los parámetros fisicoquímicos más importantes del producto obtenido Extracto de Antocianinas de la Frambuesa, realizados en el CEANID son: Acidez: 6,44%, Cenizas: 6,43%, PH: 1,14, Humedad: 62,99%, Proteína: 0,73% y Solidos Solubles: 6,20°Brix.

6.2. Recomendaciones

- El etanol recolectado del proceso de concentración cuenta con un aroma característico de las frambuesas, además de tener buena concentración, por lo que se recomienda reutilizarlo y comercializarlo ya que rebajaría el costo de producción.
- Se recomienda trabajar con más variedades de frambuesa y en estado de mayor maduración, para obtener nueva información de la investigación y ver cual se cumple mejor aplicación para esta.

- En anteriores trabajos se observaron variables de relación soluto solvente, en este caso se contempló también el tiempo de concentración y temperatura de la misma, por lo que se recomienda trabajar a temperatura de 45°C ya que masifica la concentración de antocianinas y optimiza la cuantificación de estas.
- Las antocianinas obtenidas, como colorante natural, pueden ser utilizadas en diferentes tipos de productos.