

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I. CAPÍTULO

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La frutilla o también llamada fresa es una planta perenne de la familia de las rosáceas, cuyo fruto es comestible; este es un ovario, un receptáculo floral carnoso que presenta una gran cantidad de aquenios; es una fuente de vitamina C, vitamina P, hidratos de carbono, potasio, magnesio, calcio y agua. (Merino, 2009)

En lo referido a la producción de frutillas, esta alcanzó 9,223.815ton en 2017; los principales países productores son China (41%), Estados Unidos (16%), Egipto (5%), Turquía (4%), México (4%), Alemania (3%) con un consumo por persona entre 4,9-5,2 kg/año (Perdomo, 2019)

Enfocándonos en el Departamento de Tarija, la producción de frutillas en el Valle Central representa una alternativa económica y laboral, mucho mejor que la producción de papa, cebolla y otros productos agrícolas (Cadena, sábado, 13 de diciembre 2008)

El consumo de frutilla en la ciudad de Tarija es alto, debido a que su producción es anual, tiene un mercado asegurado, la primera opción es el consumo directo y las transformaciones que comúnmente tiene son en dulces, mermeladas, jugos, etc.

Datos recabados por los medios de prensa indican que en Tarija la producción de frutilla se ha expandido en todo el departamento; así mismo el SEDAG confirma que la producción de frutilla es bastante alta en el departamento, estos datos son respaldados por el informe del (INE, 2020).

Tabla I-1 Producción de frutilla en comunidades de Tarija

Comunidad	Superficie cultivada (ha)
Yesera	15
Coimata	6
El Portillo	10,42
Otros	3,06
Total	34,48

Fuente: Elaboración Propia, 2021

La presente tabla nos muestra que la comunidad de Yesera es la que produce mayor cantidad de frutilla, la cual es comercializada en el mercado local; en esta localidad las variedades que se han adaptado mejor son Albión y San Andreas, además de ser las que mejor se adaptaron al departamento y por ende las más producidas; por lo que se tomarán estas variedades para el estudio.

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, son compuestos presentes en muchas frutas y vegetales.

La siguiente tabla muestra el contenido de antocianinas en vegetales, frutas y cereales.

Tabla I-1.1-1 Presencia de antocianinas 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)

Fuente: (Horbowicz, 2008)

Estos se han estado estudiando a través de los años, por los mismos se conocen investigaciones con relación a la extracción de antocianinas en otras frutas, realizadas en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho como “Extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado” por Carvalho Humacata Marimthia, “Obtención de extracto de antocianinas de Arándano (*vaccinium corymbosum* L) cultivado en el Valle Central de Tarija” por Enilce Yessica Cruz H.

En relación a la fresa se conocen investigaciones como “Extracción y caracterización de antocianas de la fresa mediante fluidos supercríticos asistida por campos eléctricos pulsados” (Hernández, noviembre, 2019); también está el artículo “Capacidad antioxidante de fragaria x ananassa y Duchesne sometidas a variaciones en la nutrición vegetal” (Msc.Luz Marina Carvajal de Pabón, 2012) mientras que (Delgado, 2013) al

investigar la actividad antioxidante y el contenido total de antocianinas de la frutilla, obtuvo un valor máximo de 552,9mg/kg; por otro lado (Silva, 2004), en su trabajo de caracterización de fracciones polifenólicas de la fresa obtuvo 200-600mg/kg de antocianinas totales.

(Celso Luiz Bordignon Jr, 2008). enfocado en la influencia del pH en la extracción de antocianinas de frutilla, obtuvo a un valor de pH 1 una concentración de 76,6 mg/kg de frutilla

Estos trabajos nos 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 nuestro departamento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Obtener un extracto de antocianinas a partir de dos variedades de frutilla, cultivadas en la comunidad de Yesera.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros físicos y químicos de la frutilla de las dos variedades utilizadas para la investigación.
- Seleccionar el método a emplear para la obtención del extracto antocianinas de frutilla
- Determinar el método de cuantificación de antocianinas presentes en el extracto de frutilla.
- Seleccionar las variables de proceso en la extracción de antocianinas de frutilla.
- Diseñar y ejecutar el proceso experimental.
- Cuantificar el contenido de antocianinas presentes en la frutilla.
- Realizar el análisis de recuperación de antocianinas del extracto de frutilla.
- Realizar el balance de materia del proceso tecnológico que presenta un extracto con mayor cantidad de antocianinas.
- Realizar el análisis de costos del extracto obtenido.
- Determinar las características y propiedades fisicoquímicas del extracto obtenido.

1.3. Justificación del tema

Actualmente la frutilla es conocida en el mundo entero, por su agradable sabor se ha posicionado con gran aceptabilidad en la dieta boliviana; pero además presenta un valor nutricional alto, son ricas en carbohidratos, vitaminas y minerales.

Siguiendo la importancia que la sociedad ha adoptado en los últimos años al consumir productos más sanos es que se ha tomado en cuenta el uso de la frutilla en el presente trabajo para la obtención de un extracto con un alto contenido de antocianinas además de tener un alto valor antioxidante debido a la frutilla; por lo mismo se considera de suma importancia validar una metodología para la correcta obtención de extractos de antocianinas de frutilla de las dos variedades más cultivadas en Yesera.

Con el presente trabajo de investigación se pretende:

- Aportar a la industria alimenticia y farmacéutica boliviana con una metodología para la obtención de un extracto de antocianinas trabajando con las dos variedades de frutilla más cultivadas en el Valle Central de Tarija.
- Presentar al mercado un producto novedoso, el cual puede reemplazar el mercado de los colorantes artificiales, como un colorante natural que además de ser saludable, contendrá propiedades antioxidantes y nutritivas.
- Fortalecer la producción de frutilla, brindando a los comunarios otras aplicaciones y nuevos mercados para la implementación de productos novedosos en pro del desarrollo, economía y calidad de vida además de abrir las puertas al aprovechamiento de otros frutos y vegetales, usando métodos eficientes, sencillos y económicos.
- Fomentar estudios de industrialización y prefactibilidad para una planta de obtención de extracto de antocianinas de frutilla y sus diversos agregados en productos afines.

La producción de frutilla en Bolivia ha aumentado al pasar de los años, pero el consumo de esta es en forma directa, el proponer un extracto de antocianinas, hace que esta pueda

ser usado en la industria alimenticia en suplementos, bebidas y demás dándole un valor agregado.

Cabe destacar que autoridades de Tarija respaldan e instan la producción de este fruto, dotando de plantines de frutilla. (Escalante, 2019) Han venido apostando por la masificación de este fruto por los beneficios ya expuestos; además del precio que tiene el mismo, como se pudo observar este fruto se ha expandido en todo el departamento, mas es la comunidad de Yesera la que resalta en cuanto al cultivo, sabor, tamaño, zona geográfica, la cual hace que la frutilla producida en Yesera sea de mayor calidad en comparación con las demás, por lo cual sus propiedades alimenticias son más significativas, según informes de (Fautapo, 2015).

Por otro lado, es común que los niños adquieran caramelos y productos poco saludables que causan hiperactividad y déficit de atención; las propiedades de las antocianinas contrarrestan estos efectos mejorando la salud de quiénes lo consumen.

Los beneficios en la salud por el consumo de antocianinas son relevantes, como el mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo como resultado de su consumo (Denisova, 1999); como también la reducción de la inflamación (Ohgamy K, 2005), estos extractos de antocianinas no sólo son utilizados en la industria alimenticia sino también por la industria farmacéutica; debido a su gran valor como antioxidante, además de que la frutilla es un producto que generalmente se consume de forma directa en Tarija, se busca presentar al mercado un producto diferente, natural y saludable.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

II. CAPÍTULO

MARCO TEÓRICO

2.1. Frutilla

Es una planta perenne estolonífera, de pequeña altura, que es cultivada para la producción de sus frutos (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, MMA, 2015).

La frutilla es conocida en vecinos países como fresa, fresón; en inglés como strawberry, en Alemania como como erdbeere, en francés como fraise, en portugués morango, lo que nos muestra la gran expansión que ha tenido esta por todo el mundo; como menciona Pefaur (2014), su fruto se destina al consumo directo como también a la producción de jugos, mermeladas, conservas, fármacos y licores.

2.1.1. Taxonomía

Su nombre científico es *Fragaria ananassa* Duch; según (Bonet Gigante, 2010) la taxonomía es la siguiente:

Reino: Vegetal

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosae

Familia: Rosáceas

Género: *Fragaria*

2.1.2. Valor nutricional

La frutilla contiene antocianinas, que es la que le da el color rojizo, este juega un papel muy importante ya que cuenta con 3 azúcares principales como fructuosa, glucosa y sacarosa en distintas proporciones y posiciones de acuerdo con los radicales; como menciona (MIGUEL, 2011) posee actividad antiinflamatoria por la inhibición de ciclooxigenado-2 (COX-²), un lipolisacárido.

Además, las frutillas son ricas en carbohidratos, tienen gran capacidad antioxidante y al disolverse fácilmente en agua, apoya al sistema digestivo.

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

Tabla II-0-1 Composición nutricional de la frutilla, muestra de 100g.

Nutrientes	Cantidad	Nutrientes	Cantidad	Nutrientes	Cantidad
Energía(kca)	39	Fibra (g)	1,4	Vitamin.C	75
Proteína (g)	0,7	Calcio (mg)	26	Vitam.D	-
Grasa total (g)	0,3	Yodo (ug)	-	Vitam.E	0
Colesterol	-	Vitam.A(mg)	3.33	Vitam.b12	-
Glúcidos	9,6	Hierro(mg)	1,5	Folato (ug)	0

Fuente: Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER, 2005)

2.1.3. Composición química

(Terranova, 1995) Determina la presente composición basándose en 100gr de muestra de frutilla.

Tabla II-0-2 Composición química de la frutilla

Componente	%
Agua	89,9
Proteína	0,8
Grasa	0,5
Carbohidratos	6,9
Fibras	1,4
Cenizas	0,5

Otros componentes (mg)	
Calcio	28
Fósforo	27
Hierro	0.8
Vitaminas	30
Tiamina	0,03
Riboflavina	0,07
Niacina	0,3
Ácido ascórbico	650
Calorías	32

Fuente: (Terranova, 1995)

2.1.4. Clasificación de la frutilla

La frutilla cuenta con muchas variedades, esto debido a su sensibilidad al clima, es decir, la temperatura es un gran factor en su producción pues según esta se determina las zonas de producción y los injertos aptos según la luminosidad a la que será expuesta. Es en este sentido, se clasifican como:

- **Variedades de día neutro:** Dependen de la temperatura, esta debe estar por sobre los 12°C para que la planta se desarrolle de manera óptima, así, a lo largo de la temporada su producción es homogénea y responde de manera adecuada a sistemas forzados bajo túneles o invernaderos. (Morales, 2017)

Sus variedades son: Albión, San Andreas, Monterrey, Portola, Aromas, Cristal y Amandine

- **San Andreas:** Proviene de la Universidad de California, es la variedad que presenta el mayor tamaño y homogeneidad en frutos, su crecimiento es

rápido sobre temperaturas mayores a los 12°C, es resistente a enfermedades de follaje y suelo.

Ilustración II-0-1 Frutilla variedad San Andreas



Fuente: (Villagran&Legárraga, 2016)

- **Albión:** Es de tamaño intermedio, buena resistencia a oídio; además de ser la variedad que acumula mayor cantidad de azúcar, es de color rojo externo y pulpa de color moderado, su fruto es muy firme y con excelente vida de post cosecha. Esta es una de las variedades que más se adaptó a Tarija.

Ilustración II-0-2Frutilla variedad Albión



Fuente: (Lepe & Berries, 2014)

- **Cartujo:** Es una variedad española, sus hojas son grandes y de color oscuro, su floración sobresale de la masa foliar; esta se puede plantar en verano y otoño en lugares de clima templado, su piel es de rojo brillante, es de tamaño más grande que la variedad Chandler y resistente a enfermedades.
- **Variedades de día corto:** Estas responden a fotoperiodos menores a 14 horas de luz. Generalmente presentan 2 cosechas al año. Las variedades son Camarosa, Camino Real, Ventana, Palomar, Mojave, Benicia, Sabrosa, Sabrina, Sahara y Safari. A continuación, se detallan las de mayor producción en la región.
- **Camarosa:** Es una variedad similar a la Chandler, los primeros injertos se obtuvieron de la universidad de California en 1994, sus frutos son grandes, firmes, de color rojo fuerte y es más vigorosa, es considerada la variedad con más rendimiento.

Ilustración II-0-3 Frutilla variedad Camarosa



Fuente: (Villagran&Legárraga, 2016)

- **Chandler:** Es una planta de hojas grandes y gran vigor, su color es ligeramente menor que la variedad pájaro; no obstante, se adapta fácilmente a diversas condiciones climáticas. Los frutos generalmente son un tamaño uniforme, grandes, de buen color y sabor dulce. Las características que

ofrece esta variedad sobre las demás son sus buenas propiedades organolépticas y su buen equilibrio ácido-base, como menciona (Pefaur Lepe, 2014)

Ilustración II-0-4 Frutilla variedad Chandler



Fuente: (Sweet Berry, 2015)

- **Sweet Charlie:** Esta variedad fue introducida por la Universidad de Florida, su fruto es mediano, rojo, de un excelente sabor; muy producida y resistente a la temporada de otoño e invierno, es resistente a antracnosis y sensible a botritis.
- **Pájaro:** De origen Californiano, el fruto es grande, cónico y regular, de superficie resistente, de un color rojo brillante

2.1.5. Producción actual de frutilla

Mundialmente conocida, la producción de frutilla a nivel mundial ha ascendido a 1.533.000 toneladas; de estos el 53 % corresponde a su estado natural, el 38% es congelada y el restante preparada o conservada (El mercado de las Frutillas, Ministerio de Agricultura de Chile, 2014).

Además, el mercado se ha incrementado en los últimos años, puesto que las exportaciones de esta se ubican en 227 millones 760 mil dólares, incrementándose en alrededor de 5% por año. El volumen de fresas congeladas aumenta en 8%. (FAO, 2011)

Tal es el caso de Bolivia que a pesar de no tener producción de frutilla en las ciudades de Beni, Pando, Potosí y Oruro; ha aumentado la producción año tras año.

Tabla II-0-3 Bolivia: Producción de frutilla por departamento (tm /año)

Descripción	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Santa Cruz	1690	1699	1697	1692,84
Tarija	99,99	100,94	100,14	99,22
La Paz	23	22	22	21,13
Cochabamba	1452	1397	1607	1448,86
Chuquisaca	23	29	31	25,43
Producción total en Bolivia	3287,99	3247,94	3457,14	3287,48

Fuente: Instituto Nacional de Estadística Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (INE, 2020)

El desarrollo de nuevas tecnologías, métodos de plantación, propiedades curativas y agradable sabor posicionan a esta fruta en los puntos más altos de producción a nivel mundial, en Tarija, la producción es la siguiente:

Tabla II-0-4 Producción de frutilla en Tarija por año

Descripción	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Superficie cultivada (ha/año)	35	35	35	34,48
Producción por año agrícola (Tm/año)	99,99	100,94	100,140	99,22
Rendimiento (kg/ha)	2857	2884	2861,380	2877,62

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE, 2020)

2.1.5.1. Cultivo y plantación de la frutilla

El cultivo de la frutilla se realiza a través de plántulas provenientes de estolones, este se puede realizar en verano o en otoño-invierno; por lo que la frutilla está presente en todo el año. Los tipos de plantaciones pueden ser:

- **Plantación de verano:** Es aconsejable realizarlo en los meses de enero y febrero, la primera floración se elimina puesto que produce frutos deformes, además de que esta práctica fortalece al desarrollo de la planta, en esta se usa variedades de día corto, ya que genera mayor rendimiento.
- **Plantación de invierno:** Realizada en los meses de abril y mayo, esta produce frutilla precoz, la cual tiene mejores precios en el mercado local, este es de mejor calidad, pero de menor rendimiento; se utilizan variedades de día neutro o donde el invierno es leve.

Las características para el cultivo, es realizarlo en planta bandas con un ancho de 60cm, en surcos de 40cm de ancho por 25cm de profundidad; esto asegura que a los 15 días de plantado surjan los primeros brotes; así también se recomienda el uso de polietileno de baja densidad contra la radiación ultra violeta, de color gris un espesor de 0,07mm (para invierno) el cual favorece el control de malezas y en época de verano se debe inclinar por el uso de plástico negro u opaco, este evita la incidencia de moho gris, además de evitar el contacto de la fruta con la tierra. (Lepe & Berries, 2014)

2.1.5.2. Frutilla en el Valle Central de Tarija

Actualmente no se cuentan con datos confiables sobre los registros de productores en Tarija, todo esto debido a que el fruto se ha esparcido por todo el departamento, motivo que ha dificultado la cuantificación de estos, no obstante, se muestran los datos más representativos recabados.

Tabla II-0-4 Superficie cultivada de frutilla en el Valle Central de Tarija

Comunidad	Superficie cultivada (ha)
Yesera	15
Coimata	6
El Portillo	10,42
Otros	3,06
Total	34,48

Fuente: Elaboración Propia, 2021

- **Yesera:** Se encuentra a 31,5km de la ciudad de Tarija, alrededor de 40min; en el año 2014 se implementó un proyecto de producción de frutilla junto con riego por goteo lo que produce en la zona alrededor de 43164 kilogramos anuales, implementando hasta 15 hectáreas, las variedades cultivadas son San Andreas y Albión.
La zona de Yesera es apta para el cultivo de la frutilla por sus características climáticas, como señala un informe de (Fautapo, 2015).
- **Coimata:** La comunidad de Coimata, ubicada en el Valle Central de Tarija actualmente cuenta con alrededor de 6 hectáreas destinadas al cultivo de frutilla, los cuales cuentan con nueva tecnología para el cultivo de estos, debido a la implementación de invernaderos lo que asegura la calidad y un mejor desarrollo de estos, como menciona el representante de la Asociación de Productores de Frutilla de Coimata, ing. Edwin Camacho
Las variedades cultivadas en la comunidad de Coimata son Camila, San Andreas y Albión.
- **Portillo:** Un total de 21 familias en la comunidad del Portillo producen frutilla, de las variedades Albión, Aroma y San Andreas, en el año 2014 se implementaron alrededor de 5000 platines brindando 30 mil kilogramos de

frutilla generando un ingreso económico mayor a medio millón de bolivianos gracias al apoyo de la subgobernación, señala (Céspedes, 2014).

- **Tolomosa:** La comunidad de Tolomosa ha incursionado en el cultivo de la frutilla desde hace más de 10 años. Tal es el hecho de que en esta comunidad se realiza cada año la feria de la frutilla, se cuenta con 40 productores en ascenso produciendo más de 1000 kilogramos de frutilla.

El precio de la frutilla en el mercado tarijeño oscila entre Bs. 10-25, si bien la frutilla es un fruto que está presente todo el año, el precio varía según la temporada, pues en época de primavera, se tienen mayores cantidades de producción lo que equivale a un menor precio de venta, actualmente esta es vendida en el mercado local en bolsas de nylon por mayor y menor.

2.1.6. Usos

Como se ha mencionado, las antocianinas son pigmentos naturales de gran importancia en la industria. Su uso como colorantes se ha incrementado debido a la toxicidad que presentan los colorantes artificiales. Actualmente su uso se ha intensificado debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas, estos ejercen efectos conocidos que incluyen la reducción de las enfermedades coronarias, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo. (Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, 2008)

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)

2.2. Antocianinas

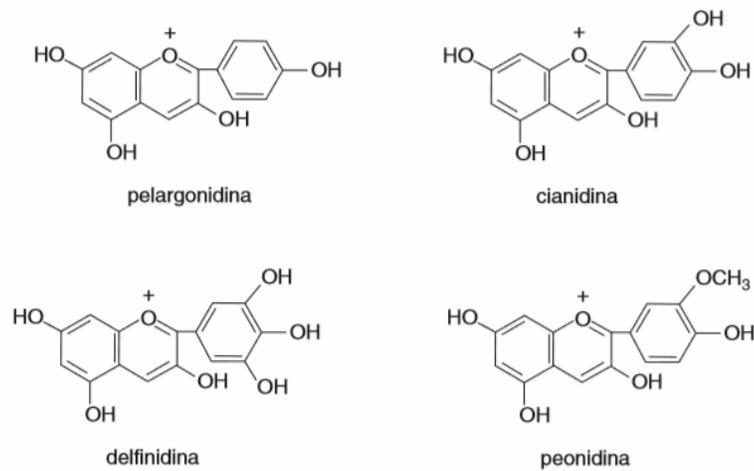
La palabra antocianina deriva del griego “anthos” (flor) y “kyanos” (azul oscuro); este es uno de los pigmentos más importantes; pues son derivados del catión 2-fenilbenzopirillo y se encuentran en su forma glucosilada; en el caso de las fresas, como cianidina-3-glucósido (J., 1980)

Como menciona (Islam, 2016), la antocianina es un colorante natural de uso alimentario, cuyo pigmento ronda entre el rojo púrpura al azul intenso encontrándose principalmente en bayas, cerezas, fresas, uvas, arroz negro, repollo rojo, granada, pétalos de flores rojas y violetas.

2.2.1. Estructura química

Las antocianinas son las formas catiónicas de flavilo. Todas las antocianinas están hidroxiladas en las posiciones 3, 5 y 7, pero difieren en la sustitución del anillo por el fenómeno de deslocalización de electrones, a medida que el número de sustituyentes de la fracción antocianidina aumenta, el color del catión flavilo absorbe a mayores longitudes de onda, desde 520 en la pelargonidina hasta 546 nm en la delfinidina. Por otro lado, la metilación de los grupos hidroxilo promueve un efecto batocrómico, es decir, desplazamiento de la absorción máxima, por tanto, la petunidina y malvinidina absorben a 543 y 542 nm, en lugar de 546 nm en la delfinidina. Sólo se han encontrado cinco azúcares que forman parte de la molécula. En orden de abundancia son: glucosa, ramnosa, galactosa, xilosa y arabinosa y, ocasionalmente, gentiobiosa, rutinosa y soforosa; todos estos compuestos se unen a la antocianidina principalmente por medio del hidroxilo de la posición 3, y, en segundo término, en posición 5 o 7. De acuerdo con el número de azúcares que contengan son monóxidos (en posición 3), bióxidos (en posiciones 3 y 5) y trióxidos (en posición 3 y una en posición 5).

Ilustración II-5 Antocianinas más representativas



Fuente: (Badui, 2006)

La glucosilación también da como resultado un efecto batocrómico, además de aumentar la solubilidad y estabilidad del pigmento. Cuando en una misma molécula se encuentran dos azúcares, éstos se localizan en los hidroxilos 3 y 5, generalmente acilados con ácidos cinámicos (p-cumárico, caféico y ferrúlico) y con ácidos alifáticos (acético, malónico y succínico) e hidroxibenzoicos, que producen una estructura que generalmente es más estable que cuando sólo contienen un solo monosacárido. La acilación no tiene efecto en el color, pero hace más estable al pigmento. (Legarreta, 2006)

2.2.2. Factores que afectan su estabilidad

2.2.2.1. pH

El núcleo de flavilo es deficiente en electrones y por lo tanto muy reactivo, lo que lo hace muy sensible a cambios de pH. Por otra parte, al madurar las frutas, el pH cambia, y con ello el color, estos cambios de las antocianinas se deben a modificaciones en su estructura, que en muchos casos son reversibles.

Las diferentes coloraciones de las antocianinas se deben a la conversión del catión flavilo a formas secundarias de las antocianinas en medios acuosos, así como a

interacciones moleculares. Debido a una deficiencia del núcleo de flavilo, estos pigmentos funcionan como verdaderos indicadores de pH. A pH ácidos adquieren una estructura oxonio estable de catión flavilo colorido. Al aumentar el pH se promueve la desprotonación del catión flavilo; a pH 7.0 y superiores debido a la desprotonación continuada predominan las formas quinoidales, en estos casos el efecto batocrómico es considerable y afecta el color en tal forma que se presenta una coloración azul.

En el caso de las fresas, el cambio de color de estas se debe a el pH del glucósido de pelargonidina-3-glucósido, es 3.0; sin embargo, el jugo de fresa tiene un pH 3.5, lo que hace que cerca del 50% del pigmento sea incoloro. Las fresas, con pH 3.5, tienen un cambio de color de rojo a azul rojizo cuando se añaden a yogurt a pH 4.3. Por tanto, una limitante del uso de colorantes basados en antocianinas es que se reduce su intensidad y aumenta la tonalidad azul al pH de la mayoría de los alimentos procesados, además de producirse las formas hemicetal y quinoidal azules o incoloras, menos estables y más fáciles de degradarse. (Badui, 2006)

2.2.2.2. Temperatura

La temperatura es importante, puesto que la estabilidad de las antocianinas se ve influenciada por esta; de esta forma se plantea que el calor causa la degradación del color, como observó en la extracción y almacenamiento de extractos a 4°C lo cual no influenció en la absorbancia debido a que, al almacenarlos a esa temperatura, provoca que el extracto se enturbie al precipitar las proteínas; en cambio al aumentar la temperatura en el momento de extracción, la absorbancia aumentó un 15%. (Timberlake, 1980)

2.2.2.3. Enzimas

Las enzimas actúan como polifenoloxidasas, peroxidasas, glicolasas y estearasas degradan a los compuestos fenólicos, transformando a los substratos incoloros en pigmentos amarillos a través de oscurecimiento enzimático. A pesar de que las antocianinas no reaccionan fácilmente con las polifenoloxidasas de las plantas, sí reaccionan con las o-quinonas producidas por la oxidación enzimática de fenoles a

través de la formación de quinonas. Las peroxidasa afectan a las antocianinas por ruptura del anillo heterocíclico al degradarse rápidamente cuando existe catecol, ya que este, al transformarse en o-quinona, oxida estos pigmentos. Las glucosidasas rompen la unión del aglucón, lo que genera compuestos incoloros. (Eliasson, 2003)

Otra causa de las pérdidas de estas sustancias son las reacciones efectuadas por enzimas endógenas o fúngicas con actividad b-glucosidasa, o antocianidasas, que hidrolizan el enlace glucosídico en posición 3, y producen el correspondiente aglucón, el cual es más inestable que la antocianina de donde proviene, por lo que su degradación es más rápida. Por tener estructuras fenólicas, son atacadas también por fenolasas. (Badui, 2006)

2.2.2.4.Efecto del oxígeno y ácido ascórbico

Este efecto está relacionado, debido a que las condiciones de oxidación aeróbica favorecen la pérdida de antocianina; en cambio cuando se excluye el oxígeno, los extractos no muestran pérdidas de color, (Garzón, 2008)

Referido al ácido ascórbico, investigaciones de (L., 1972) denotaron la aceleración de la destrucción de las antocianinas presentes en la fresa tanto en sistemas naturales y sistemas modelos como una posible reacción de condensación entre el ácido y los pigmentos.

2.3.Métodos de extracción

Los métodos más factibles para la extracción de antocianinas son el método de extracción sólido-líquido y el método de extracción por fermentación. Por lo cual en los siguientes puntos describiremos estos.

2.3.1. Fermentación

Como menciona (Zapata, 2014) se utiliza el proceso de fermentación, en el que la materia prima es fermentada con cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, en donde las levaduras producen una solución alcohólica a partir de los azúcares presentes; esta solución contiene antocianinas además de otros metabolitos por lo que se lleva a solubilizar. El uso de esta técnica es muy beneficioso debido a que permite usar

residuos vegetales como soporte y fuente de nutrientes que utilizarán los microorganismos en los bioprocesos, como menciona (Gabriel Martínez, 2013)

2.3.2. Extracción sólido-líquido

Este tipo de extracción separa sustancia que está contenida en un material sólido, junto con otros componentes; los cuales deberán ser prácticamente insolubles en el disolvente utilizado. Es usada para aislar sustancias naturales de origen vegetal, o bien, de mezclas resinosas obtenidas por síntesis.

2.3.2.1.Extracción por agitación magnética

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. (Cánovas, 2005)

2.3.2.2.Extracción por filtración

Este es un método simple que utiliza los distintos tipos de filtración para separar compuestos dentro de una mezcla, estos son filtración al vacío generalmente, en donde la materia prima es previamente macerada y puesta en contacto con el solvente seleccionado, para luego pasar a una filtración; los parámetros a considerar son el tipo de solvente, la relación soluto-solvente y la acidez del solvente (Aguilera Ortiz, Miguel, 2011)

2.3.2.3.Extracción por maceración

La extracción mediante maceración se basa en someter a disolución la materia prima en presencia de un solvente, en este sentido se deja reposar este hasta que el solvente penetre en la estructura molecular y ablande la materia prima. Como se recomienda, se debe tomar en cuenta el tiempo de maceración, temperatura, la relación entre la materia prima y el solvente (Yúfera, 1979).

2.3.2.4.Extracción por cocciones

Como menciona (Msc.Luz Marina Carvajal de Pabón, 2012) en este método se lleva la materia prima a ebullición, donde se introduce la materia prima en un recipiente de vidrio junto con el solvente seleccionado para posteriormente someterlo ebullición; las variables a considerar son el tiempo de ebullición y el tipo de solvente, pues la temperatura de ebullición no debe afectar la estructura de las antocianinas.

2.3.3. 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.Métodos de cuantificación

2.4.1. Espectrofotometría UV/VIS

La espectrofotometría UV/VIS es una técnica analítica que permite determinar a concentración de un compuesto en solución basándose en la absorción de las radiaciones electromagnéticas de las moléculas en donde la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración; este mide la cantidad de luz absorbida seleccionando la longitud de onda de la luz que pasa por la solución. (Diaz, 2015)

2.4.1.1.pH diferencial

Como menciona (Rivera, 2015), al existir un cambio en el pH en la estructura de la antocianina, este permite analizar la absorbancia del extracto mediante el uso del espectrofotómetro UV/VIS, el cual mide el grado de absorbancia de las muestras, estableciendo previamente la longitud de onda en la que se va a trabajar, el contenido

de antocianinas se calcula como cianindina-3-glucósido, el coeficiente de extinción molar a usarse es 26900L/mol.cm y el peso molecular 449,2g/mol.

2.4.2. Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)

Este es el método contemporáneo más usado para el análisis cualitativo y cuantitativo de antocianinas, como menciona (Horbowicz, 2008), permite la separación e identificación de las cantidades relativas de la mezcla, esto es posible gracias a la detección de la onda.

2.4.3. Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN)

La espectroscopia de resonancia magnética nuclear es una técnica utilizada en la elucidación de estructuras moleculares, también se emplea con fines cualitativos y cuantitativos; donde los núcleos atómicos son sometidos a un campo magnético externo el cual absorbe radiación electromagnética en la región de las frecuencias de radio, por lo que se logra determinar la estructura de la molécula en donde se encuentran estos. (Candelaria, 2017).

2.5. Selección del método de extracción

La selección de un método de extracción es una de las partes más importantes en un trabajo de investigación, pues este contempla varios aspectos como factores económicos, de tiempo, complejidad, etc. En este sentir, se desarrollará una matriz de decisión en donde se seleccionará el método de extracción.

Tabla II-0-5 Escala de calificación del método de extracción

Escala de Calificación	Calificación
Excelente	9-10
Muy buena	7-8
Buena	5-6
Regular	3-4
Mala	1-2

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Tabla II-0-6 Matriz de selección del método de extracción

Factor	Fermentación			Extracción Sol-Liq			% de valoración
	Complejidad	2	0,2	6	9	0,9	
Pureza del producto	8	0,8	20	5	0,5	12,5	25%
Rendimiento	3	0,3	7,5	8	0,8	20	25%
Costo	1	0,1	2	7	0,7	14	20%
Total	35,5			73,5			100%

Fuente: (Humacata, 2019)

Según la tabla presentada, se puede ver claramente que el método de extracción más beneficioso es el de extracción sólido -líquido; esto debido a que su complejidad es baja, el rendimiento es alto y el costo es más bajo comparado con el método de extracción de fermentación; no obstante, el grado de pureza es un poco bajo comparado con ese método, sin embargo, es compensado con los parámetros señalados.

2.5.1. Selección de la técnica de extracción

Una vez determinado el método de extracción; se procede a determinar la técnica, como es bien sabido el método de extracción sólido-líquido es muy complejo y con diversas variables, en la siguiente tabla se determinará dicha técnica 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 utilizará la tabla II-5 Escala de calificación, como referencia en la escala de puntaje

Tabla II-0-7 Matriz de selección de la técnica de extracción

Factor	% de valoración	Extracción por filtración			Extracción por agitación magnética			Extracción por lixiviación			Extracción por maceración		
		9	0,9	13,5	8	0,8	12	8	0,8	12	9	0,9	13,5
Complejidad	15%	9	0,9	13,5	8	0,8	12	8	0,8	12	9	0,9	13,5
Ventajas	30%	8	0,8	24	8	0,8	24	7	0,7	21	6	0,6	18
Desventajas	30%	6	0,6	18	6	0,6	18	5	0,5	15	5	0,5	15
Disponibilidad del equipo	25%	9	0,9	22,5	8	0,8	20	8	0,8	20	8	0,5	20
Total	100%	78			74			68			66,5		

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se puede evidenciar en la tabla, la mejor técnica de extracción es por filtración (78 puntos), por lo que se considera realizar la extracción mediante esta técnica.

2.6. Selección del solvente

El método de extracción sólido-líquido requiere de un solvente, como se utilizarán las técnicas de extracción por filtración y extracción por agitación magnética, este debe

cumplir con los parámetros requeridos como punto de ebullición, toxicidad, viscosidad y accesibilidad. A continuación, se describen los solventes.

Tabla II-0-8 Selección del solvente

Solvente	Ventajas	Desventajas
Acetona y cloroformo	Alta efectividad y recuperación de antocianinas	Altos niveles de toxicidad para la salud humana
Metanol acidificado con HCl	Solvente muy efectivo	Tóxico en uso alimenticio
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 en uso alimenticio
Etanol acidificado con ácido cítrico	Baja despigmentación, además de no tener efectos tóxicos en la salud.	Menor rendimiento comparado con otros solventes.

Fuente: Elaboración Propia, 2020

El fin del extracto de antocianinas de frutilla es que este aporte al sector industrial, se debe tomar en cuenta que este solvente debe optimizar la recuperación de antocianinas, reducir las impurezas y la degradación del pigmento; debido a la toxicidad que presentan algunos de los compuestos, estos tienen un mayor control en el país, por lo que retrasarán la parte experimental el adquirirlos; tomando todos estos parámetros, se

considera el uso de etanol acidificado con ácido cítrico como solvente, pues es el menos tóxico para el consumo humano.

2.7. Selección del método de cuantificación

2.7.1. Proceso de cuantificación

Tabla II-0-9 Selección del proceso de cuantificación

Proceso	Descripción	Alternativa	Disponibilidad
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, 2020

Analizando las opciones de disponibilidad de los equipos, se utiliza un espectrofotómetro UV/VIS mediante el cual se puede determinar el grado de absorbancia y con el método de pH diferencial se cuantifica las antocianinas presentes en los extractos obtenidos.

El método de extracción a utilizar es el de extracción sólido-líquido mediante las técnicas por filtración con centrifuga; el solvente utilizado fue etanol, como recomienda (Abdel-Aal, 2010) debido a su baja toxicidad, este fue acidificado a un pH de 1 y 3 a causa de la influencia que este ejerce en presencia de las antocianinas.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

III. CAPÍTULO

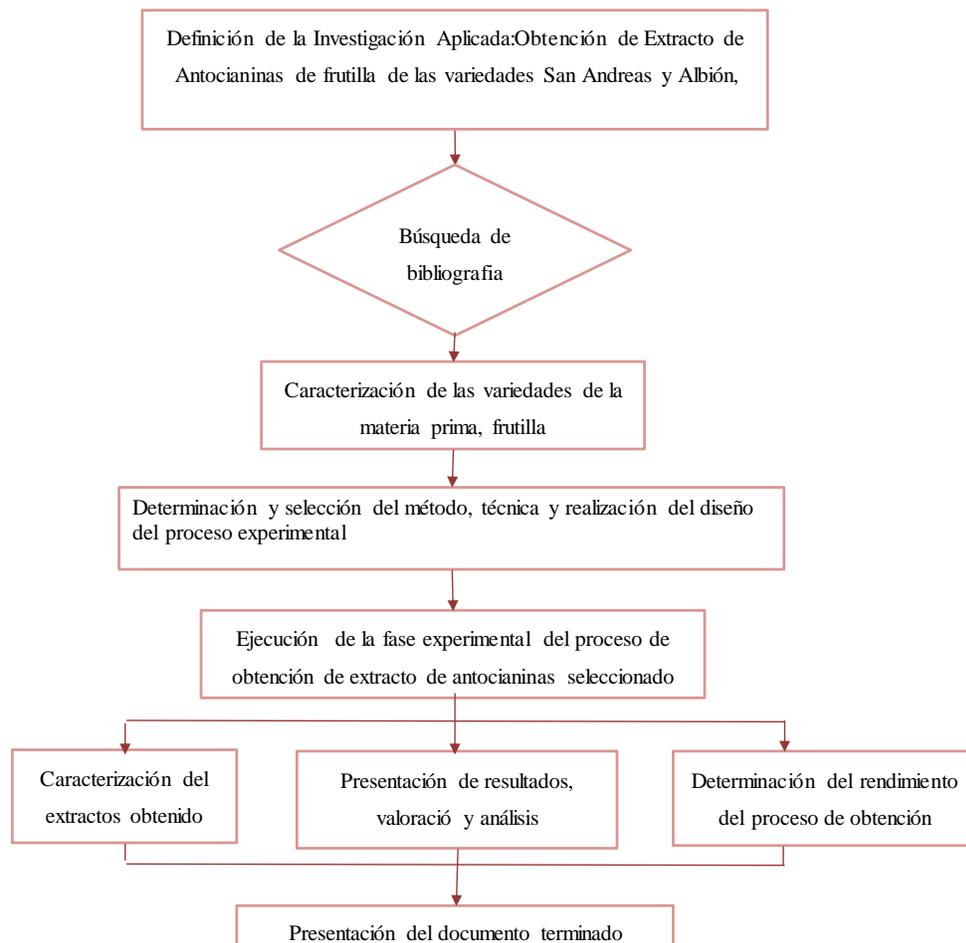
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Metodología de Estudio

3.1.1. Descripción de la metodología de estudio

En el presente trabajo se utilizará la metodología descrita en la *Ilustración III-0-1*, esta con el fin de alcanzar los objetivos planteados, por lo cual se contemplan aspectos desde el inicio del trabajo de grado, hasta su correcta conclusión.

Ilustración III-0-1 Metodología del Estudio



Fuente: Elaboración Propia, 2020

3.2. Selección de Variables de proceso

En el presente trabajo se contemplaron como variables los siguientes parámetros:

3.2.1. pH

El pH es un factor importante para tomar en cuenta en el momento de extraer antocianinas, con el fin de tener parámetros más precisos es que (Celso Luiz Bordignon Jr, 2008) estudió la influencia del pH en antocianinas de frutilla trabajando pH 1, 3, 4,5, 7, 9 y 13; en su investigación determinó que a pH 1 se obtienen $76,6 \pm 0,55$ mg/100g de antocianinas y a pH 3 se obtuvieron $49,83 \pm 1,31$ mg/100g de antocianinas. (Horbowicz, 2008) trabajó con pH 1 y pH 4,5 con el propósito de determinar la cantidad de antocianinas presentes en frutas y vegetales, teniendo mejores resultados con el pH 1 y 3.

Por tal motivo se decidió trabajar con pH de 1 y 3 en el solvente del proceso extractivo.

3.2.2. Proporción de materia prima/solvente

Antes de definir la proporción de la materia prima / solvente, conviene destacar que mientras más mayor sea esta, ocasionará el aumento de velocidad de difusión de las antocianinas como también su gradiente de concentración.

Uno de los estudios más amplios fue el de (Aguilera Ortiz, Miguel, 2011), quién trabajó con varios valores de respecto a la proporción de materia prima, teniendo mejores resultados al usar una relación materia prima / solvente de 1:4 kg/l. En otros estudios, como el de (Zapata, 2014), se obtuvo un mayor rendimiento en el proceso de extracción sólido líquido al utilizar una proporción de materia prima / solvente de 1:3 kg/kg. Por tales motivos, en el presente trabajo se considera utilizar la relación materia prima / solvente de 1:3 g/ml y 1:5 g/ml

3.2.3. Tiempo post cosecha de la materia prima

Como es bien conocido, la frutilla tiene un tiempo de descomposición acelerado los cuáles difieren según las condiciones de almacenado post cosecha.

(López-Valencia, Sánchez-Gómez, Acuña-Caita, & Fischer, 2018), en su estudio, analizaron las propiedades fisicoquímicas de siete variedades de frutillas, según el tiempo de maduración, en donde observaron los cambios en pigmentación, sólidos solubles, tamaño, acidez total y firmeza clasificándolas en cinco categorías en donde la mejor condición de antocianinas fue de 68,2 en la categoría 5 de las variedades Ventana y Albion.

Por lo cual las variables serán materia prima con un día de post cosecha y materia prima con tres días de post cosecha.

3.3.Diseño Experimental

3.3.1. Planteamiento de la hipótesis

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

- Existe diferencia en cuanto a la concentración en la proporción materia prima / solvente para la extracción de antocianinas.
- Existe diferencia en la extracción en cuanto al valor de pH 1 y 3.
- Existe diferencia entre el rendimiento de antocianinas presentes en las variedades de frutilla San Andreas y Albión cultivadas en la comunidad de Yesera.
- Existe diferencia entre el rendimiento de antocianinas de frutilla con 1 día de postcosecha y 3 días de postcosecha.
- El error alfa de la hipótesis no es mayor del 5%

3.3.2. 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, proporción materia prima/solvente, tiempo post cosecha y variedad de frutilla. La variable de respuesta será rendimiento total de antocianinas.

El modelo de experimentos será de 2^4

Número de experiencias es de 16

Se realizó una réplica, mediante estos se pudo obtener resultados confiables.

Se realizaron 32 experiencias en total.

La siguiente tabla señala la variación de niveles de los factores seleccionados, que es usada para ambas variedades

Tabla III-0-1 Variación de niveles de factores seleccionados

Factor (k)	Nivel mínimo	Nivel máximo
pH	1	3
Proporción materia prima / solvente	1:3	1:5
Tiempo de postcosecha	1	3
Variedad de frutilla	Albion	San Andreas

Fuente: Elaboración propia, 2020

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

Tabla III-0-2 Codificaciones de variables seleccionadas

Factor (k)	Nivel mínimo	Nivel máximo
pH	-1	1
Proporción materia prima / solvente	-1	1
Tiempo de postcosecha	-1	1
Variedad de frutilla	-1	1

Fuente: Elaboración propia, 2020

La tabla de diseño está constituida de la siguiente forma, la misma es del mismo carácter para los dos tipos de variedad.

Tabla III-0-3 Tabla de diseño experimental

Número de experiencia	pH	Proporción materia prima / solvente	Tiempo de postcosecha	Variedad de frutilla	Rendimiento total de antocianinas (%)
1	-1	-1	-1	-1	Y ₁
2	-1	1	-1	-1	Y ₂
3	1	-1	-1	-1	Y ₃
4	1	1	-1	-1	Y ₄
5	-1	-1	1	-1	Y ₅
6	-1	1	1	-1	Y ₆
7	1	-1	1	-1	Y ₇
8	1	1	1	-1	Y ₈
9	-1	-1	-1	1	Y ₉
10	-1	1	-1	1	Y ₁₀
11	1	-1	-1	1	Y ₁₁
12	1	1	-1	1	Y ₁₂
13	-1	-1	1	1	Y ₁₃
14	-1	1	1	1	Y ₁₄
15	1	-1	1	1	Y ₁₅
16	1	1	1	1	Y ₁₆
17	-1	-1	-1	-1	Y ₁₇
18	-1	1	-1	-1	Y ₁₈
19	1	-1	-1	-1	Y ₁₉
20	1	1	-1	-1	Y ₂₀

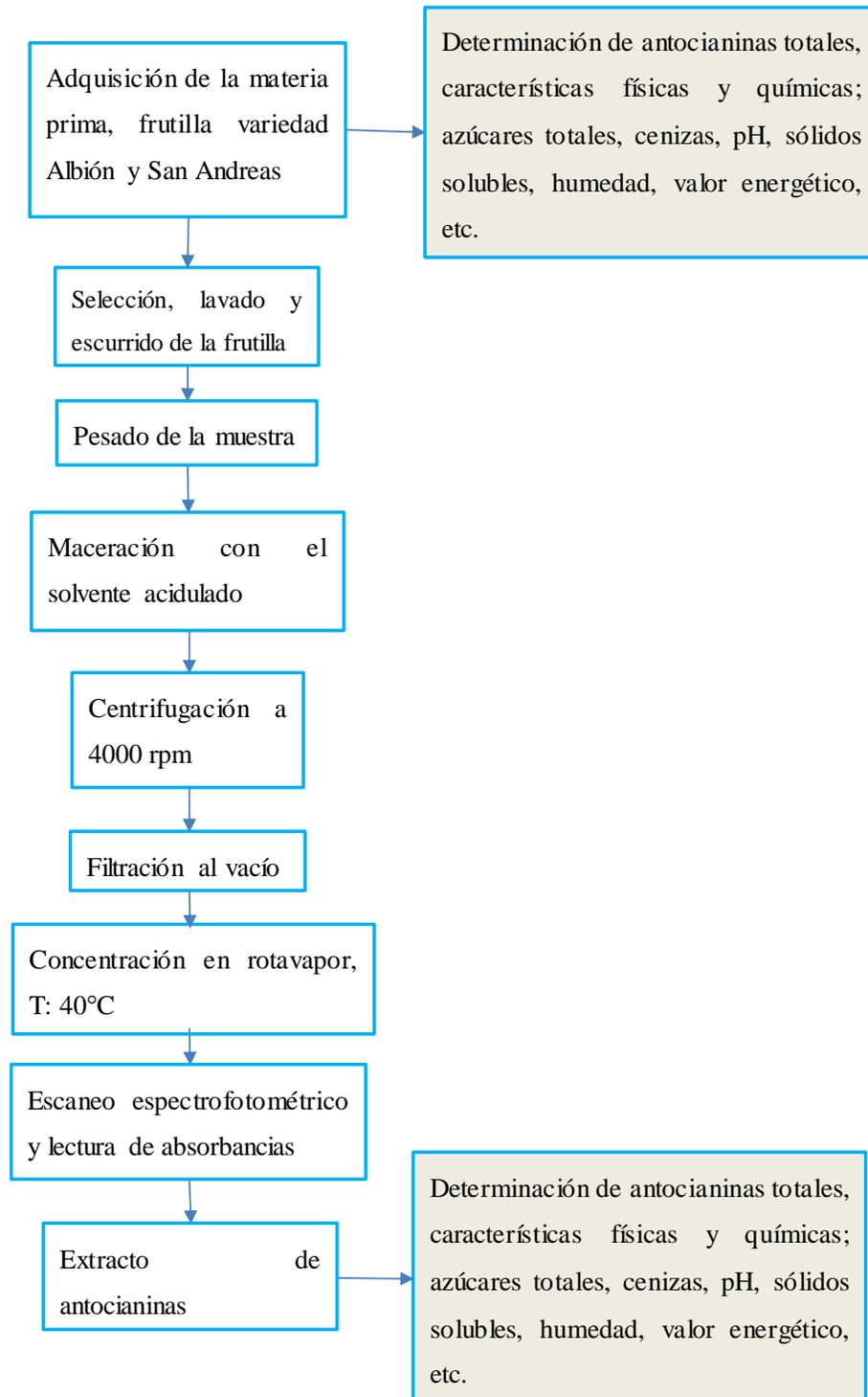
Número de experiencia	pH	Proporción materia prima / solvente	Tiempo de postcosecha	Variedad de frutilla	Rendimiento total de antocianinas (%)
21	-1	-1	1	-1	Y ₂₁
22	-1	1	1	-1	Y ₂₂
23	1	-1	1	-1	Y ₂₃
24	1	1	1	-1	Y ₂₄
25	-1	-1	-1	1	Y ₂₅
26	-1	1	-1	1	Y ₂₆
27	1	-1	-1	1	Y ₂₇
28	1	1	-1	1	Y ₂₈
29	-1	-1	1	1	Y ₂₉
30	-1	1	1	1	Y ₃₀
31	1	-1	1	1	Y ₃₁
32	1	1	1	1	Y ₃₂

Fuente: Elaboración propia, 2020

3.4. Diseño del proceso tecnológico experimental seleccionado

El *Capítulo II*, nos muestra que la comunidad de Yesera cultiva la mayor cantidad de frutilla en el departamento, además de que las variedades de frutilla más cultivadas y por ende consumidas en el departamento son San Andreas y Albion; por lo cual se trabaja con estas.

Una vez definido el método, técnica de extracción y solvente a utilizar, se plasma a continuación el diagrama de flujo del proceso experimental.

Ilustración III-0-2 Diagrama de flujo del proceso experimental

Fuente: Elaboración propia, 2020

A continuación, se detalla el proceso experimental por etapas

3.4.1. Recepción de la materia prima (frutilla)

La materia prima utilizada en el presente proyecto fue cultivada en la comunidad de Yesera, provincia Cercado, departamento de Tarija.

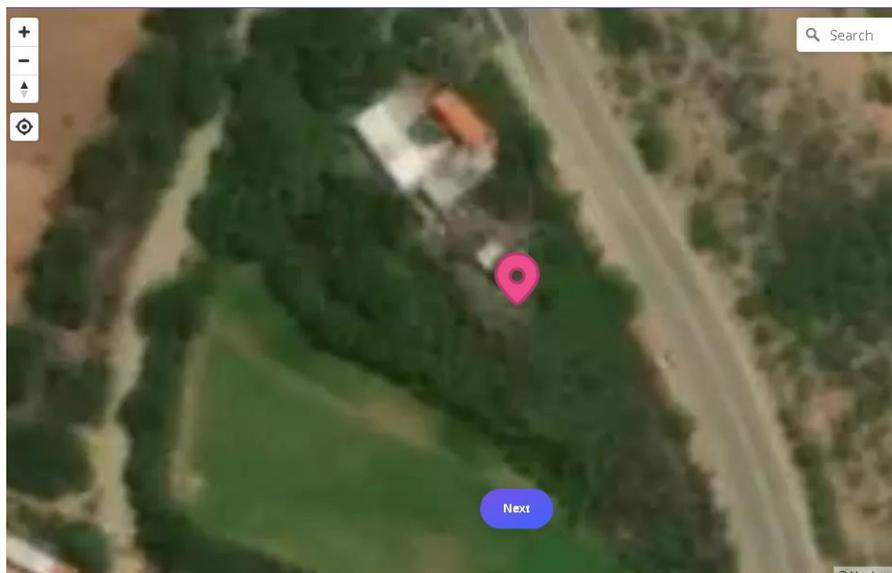
La ubicación geográfica es:

Latitud: 21°24'48,4" sur

Longitud: 64°33'3.7" oeste

Altitud 2178 m

Ilustración III-0-3 Ubicación del lugar proveniente de la frutilla



Fuente: Google Maps, 2021

Las frutillas adquiridas fueron de la variedad Albion y San Andreas, las mismas que fueron almacenadas a una temperatura de 4°C hasta su uso.

3.4.2. Selección de materia prima y lavado

En todas las experiencias, las frutillas fueron previamente seleccionadas priorizando su buen estado físico.

A las frutillas seleccionadas se les extrajeron las hojas, el lavado se realizó mediante inmersión en agua con el fin de eliminar la existencia de residuos, tierra, hojas o cualquier cuerpo externo a este.

Ilustración III-0-4 Frutilla seleccionada



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.3. Pesado de materia prima

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

Ilustración III-0-5 Frutilla pesada



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.4. Triturado

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

Ilustración III-6 Mezcla macerada



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.5. Centrifugado

La centrifugación se realiza a una velocidad de 4000 rpm por un lapso de 20min, (ver especificación técnica en anexo II)

Ilustración III-0-7Centrifugado de la mezcla macerada



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.6. 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.

Ilustración III-0-8 Filtración



Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4.7. Concentración

La concentración se realizó en un rota-vapor (ver especificación técnica en anexo II), por un tiempo de 40min a temperatura de 40°C para evitar la degradación del pigmento, no obstante, el fin es lograr una concentración aceptable en donde el extracto esté entre la sexta o quinta parte de la muestra introducida.

Ilustración III-9 Concentración del extracto bruto



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.8. Almacenamiento

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

Ilustración III-10 Extracto obtenido



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.9. Análisis cuantitativo de antocianinas

3.4.9.1. Preparación de solución buffer

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

Ilustración III-11 Preparado de soluciones buffer



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.9.2. Lectura de absorbancias

Para proceder con la lectura se tomó 0,5ml de cada extracto y se diluyó en 13ml de la solución buffer pH 1; se realizó el barrido espectral para determinar el $\lambda_{\text{óptimo}}$ y realizar las lecturas.

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS

IV. CAPÍTULO

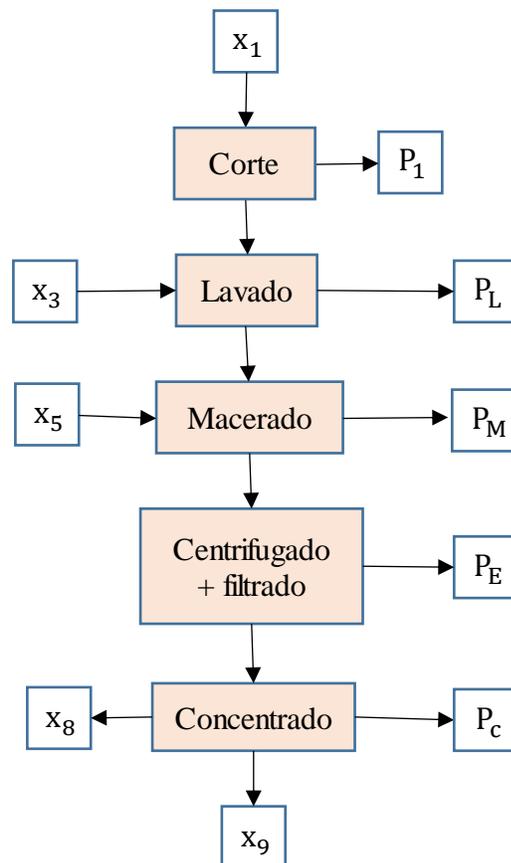
CÁLCULOS

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, 2021

En donde:

x_1 = Materia prima, frutilla seleccionada

x_2 = Fruta cortada

P_1 = Pérdidas por corte (hojas)

x_3 = Agua

P_L = Pérdidas por lavado + agua

x_4 = Frutilla lavada

x_5 = etanol acidificado

P_M = Pérdidas por maceración

x_6 = Mezcla de frutilla macerada

x_7 = Mezcla de extracto bruto

P_E = Pérdidas por extracción

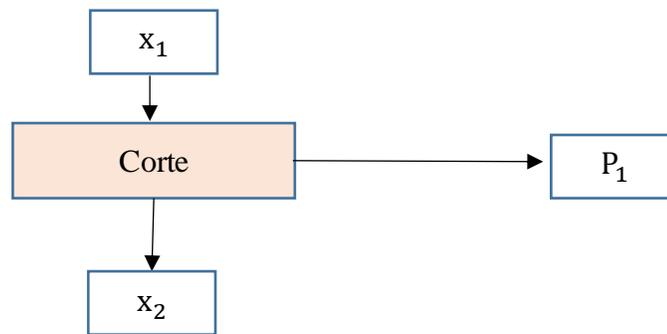
x_8 = Alcohol recuperado por evaporación

x_9 = Extracto concentrado

P_C = Pérdidas por concentrado

Para el balance de materia se contempla la experiencia que generó mayor cantidad de antocianinas, por lo cual se trabaja con 21,986 g de frutilla, variedad San Andreas con solvente acidulado de 100ml; pH de 1, tiempo de centrifugado de 20min a 4000rpm y temperatura de concentración de 40 °C por un tiempo de 40min.

4.1.1. Etapa de Corte



x_1 (frutilla) = 21,986g

x_2 (frutilla cortada) = 20,428g

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

$$x_1 = x_2 + P_1$$

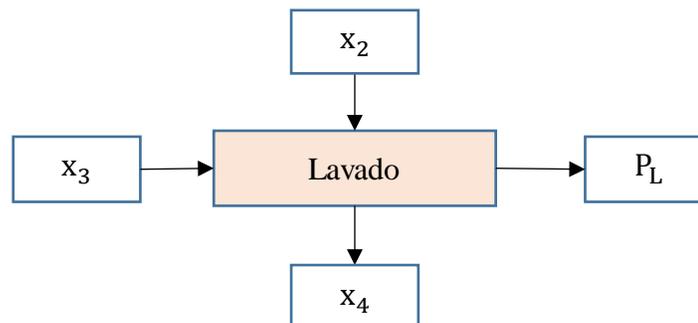
$$P_1 = x_1 - x_2$$

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

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

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

4.1.2. Etapa de lavado



x_2 (frutilla cortada) = 20,428g

x_3 (agua) = 500g

P_L (pérdidas por lavado + agua) =

x_4 (Frutilla lavada) = 20,075g

Balance global:

$$x_2 + x_3 = P_L + x_4$$

$$P_L = x_2 + x_3 - x_4$$

$$P_L = 20,428 + 500 - 20,075$$

$$P_L = 500,353\text{g}$$

Porcentaje de pérdidas

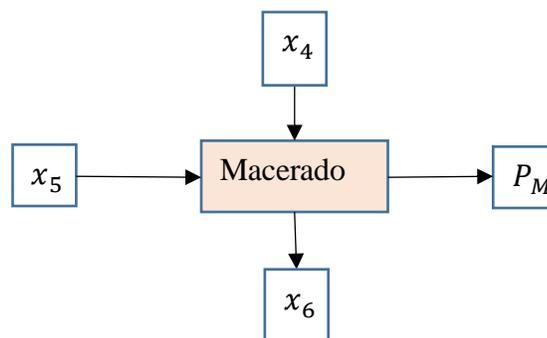
$$P_L = x_3 - x_2$$

$$P_L = 500,353 - 500$$

$$P_L = 0,353\text{g}$$

$$\% P_L = \frac{P_L}{x_2} * 100\% = \frac{0,353\text{g}}{20,428\text{g}} * 100\% = 1,728\% \text{ de pérdidas}$$

4.1.3. Macerado



x_4 (Frutilla lavada) = 20,075g

x_5 (etanol acidificado) = 91,352g

P_M (Pérdidas por maceración) = 2,24g

x_6 (Mezcla de frutilla macerada) = 109,193g

- Para frutilla lavada (x_4) se toma en cuenta la humedad, acidez y antocianinas totales.

$$x_4 = C_{4H_2O} * x_4 + C_{4\acute{a}cid} * x_4 + C_{4ant} * x_4 + C_{4s\acute{o}l} * x_4$$

$$1 = C_{4H_2O} + C_{4\acute{a}cid} + C_{4ant} + C_{4s\acute{o}l}$$

Para el cálculo de la acidez y humedad tomamos en cuenta resultados de los análisis del CEANID, realizado para la variedad de Frutilla San Andreas, con tiempo post cosecha de 1 día.

$$C_{4H_2O} = \frac{89,9\%}{100\%} = 0,899$$

$$C_{4\acute{a}cid} = \frac{0,9\%}{100\%} = 9 \times 10^{-3}$$

Para las antocianinas totales en la materia prima, tomamos en cuenta 1 litro de frutilla y la densidad de este.

$$\rho_{frutilla} = 1,01 \text{g/ml}$$

$$\frac{903,278 \text{mg} * \frac{1 \text{ml}}{1000 \text{ml}}}{1,01 \text{g}} = 0,894 \text{mg/g}$$

$$C_{4ant} = \frac{0,894 \text{mg}}{1 \text{g}} * 20,075 \text{g de frutilla} = 17,947 \text{mg} = 0,018 \text{g}$$

$$C_{4ant} = \frac{0,018 \text{g}}{20,075 \text{g}} = 8,966 \times 10^{-4}$$

Para determinar $C_{4s\acute{o}l}$ despejamos la ec.

$$1 = C_{4H_2O} + C_{4\acute{a}cid} + C_{4ant} + C_{4s\acute{o}l}$$

$$C_{4s\acute{o}l} = 1 - C_{4H_2O} - C_{4\acute{a}cid} - C_{4ant}$$

$$C_{4s\acute{o}l} = 1 - 0,899 - 9 \times 10^{-3} - 8,966 \times 10^{-4}$$

$$C_{4s\acute{o}l} = 0,091$$

- Solvente acidulado (x_5)

Se preparó una solución de 100ml de solvente acidulado, este contiene etanol 96°, ácido cítrico, ácido clorhídrico y agua; por lo tanto:

$$x_5 = C_{5H_2O} * x_5 + C_{5ácid} * x_5 + C_{5OH} * x_5 + C_{5HCl} * x_5$$

$$1 = C_{5OH} + C_{5ácid} + C_{5H_2O} + C_{5HCl}$$

Se toma como referencia las densidades

Para el etanol, se utilizó 80ml

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

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

$$m_{OH} = \rho_{OH} * V$$

$$m_{OH} = 0,793 * 80 * 0,96$$

$$m_{OH} = 60,9\text{g}$$

Para el ácido

Siguiendo la metodología de (Humacata, 2019) se prepara una solución acidificada con ácido cítrico, de la cual se usa 20ml

$$x_{5ácid} = 20\text{ml de solución} * \frac{44,891\text{g}}{50\text{ml}} = 17,956\text{g de ácido cítrico}$$

$$m_{ácid} = 17,956\text{g de ácido cítrico}$$

Para el agua

$$\rho_{H_2O} = 1\text{g/ml}$$

$$m_{H_2O} = (1\text{g/ml} * 0,04 * 80\text{ml}) + (20\text{ml} - \frac{17,956\text{g}}{1,66\text{g/ml}})$$

$$m_{H_2O} = 12,38\text{g}$$

Para el HCl

$$\rho_{\text{HCl}} = \frac{M}{V}$$

$$m_{\text{HCl}} = \rho_{\text{OH}} * V$$

$$m_{\text{HCl}} = 1,164\text{g/ml} * 0,1\text{ml}$$

$$m_{\text{HCl}} = 0,116\text{g}$$

Solución acidificada

$$x_5 = m_{\text{ácid}} + m_{\text{OH}} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{HCl}}$$

$$x_5 = 17,956 + 60,9 + 12,38 + 0,116$$

$$x_5 = 91,352\text{g}$$

Balance Global

$$x_4 + x_5 = P_M + x_6$$

$$C_{5\text{OH}} = \frac{60,9\text{g}}{91,352\text{g}} = 0,666$$

$$C_{5\text{ácid}} = \frac{17,956\text{g}}{91,352\text{g}} = 0,196$$

$$C_{5\text{H}_2\text{O}} = \frac{12,38\text{g}}{91,352\text{g}} = 0,135$$

$$C_{5\text{HCl}} = \frac{0,116\text{g}}{91,352\text{g}} = 1,269 \times 10^{-3}$$

Constatando la ecuación:

$$1 = C_{5\text{OH}} + C_{5\text{ácid}} + C_{5\text{H}_2\text{O}} + C_{5\text{HCl}}$$

$$1 = 0,666 + 0,196 + 0,135 + 1,269 \times 10^{-3}$$

Mezcla de frutilla macerada (x_6)

La mezcla macerada tiene una masa de 109,193g; siendo las pérdidas de 2,24g se tiene 111,433g sabiendo esto, se procede con el siguiente cálculo:

$$x_6 = C_{6\text{H}_2\text{O}} * x_6 + C_{6\text{ácid}} * x_6 + C_{6\text{OH}} * x_6 + C_{6\text{HCl}} * x_6 + C_{6\text{sól}} * x_6 + C_{6\text{ant}} * x_6$$

$$1 = C_{6H2O} + C_{6\acute{a}cid} + C_{6OH} + C_{6HCl} + C_{6s\acute{o}l} + C_{6ant}$$

Para el agua:

$$C_{6H2O} * x_6 = C_{4H2O} * x_4 + C_{5H2O} * x_5$$

$$C_{6H2O} * x_6 = (20,075 * 0,899) + (91,358 * 0,135)$$

$$C_{6H2O} * x_6 = 30,38g$$

$$C_{6H2O} = \frac{30,38g}{111,433g} = 0,273$$

Para el \acute{a}cido:

$$C_{6\acute{a}cid} * x_6 = C_{4\acute{a}cid} * x_4 + C_{5\acute{a}cid} * x_5 + C_{5HCl} * x_5$$

$$C_{6\acute{a}cid} * x_6 = (20,075 * 9 \times 10^{-3}) + (91,358 * 0,196) + (91,358 * 1,269 \times 10^{-3}) = 18,2g$$

$$C_{6\acute{a}cid} = \frac{18,2g}{111,433g} = 0,163$$

Para el etanol:

$$C_{6OH} * x_6 = C_{5OH} * x_5$$

$$C_{6OH} = \frac{91,358 * 0,666g}{111,433g} = 0,546$$

Para las antocianinas

$$C_{6ant} * x_6 = C_{4ant} * x_4$$

$$C_{6ant} = \frac{8,966 \times 10^{-4} * 20,075g}{111,433g} = 1,615 \times 10^{-4}$$

Para s\acute{o}lidos

$$1 = C_{6H2O} + C_{6\acute{a}cid} + C_{6OH} + C_{6s\acute{o}l} + C_{6ant}$$

$$C_{6s\acute{o}l} = 1 - C_{6H2O} - C_{6\acute{a}cid} - C_{6OH} - C_{6ant}$$

$$C_{6s\acute{o}l} = 1 - 0,273 - 0,163 - 0,546 - 1,615 \times 10^{-4}$$

$$C_{6s\acute{o}l} = 0,018$$

- Para las p\acute{e}rdidas

$$x_4 + x_5 = x_6 + P_T$$

$$P_M = x_4 + x_5 - x_6$$

$$P_M = 20,075 + 91,358 - 109,193$$

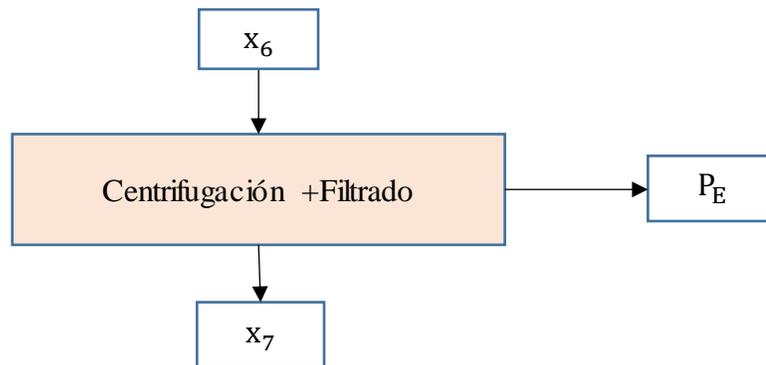
$$P_M = 2,24\text{g}$$

Porcentaje de pérdidas

$$\% P_M = \frac{P_M}{x_4 + x_5} * 100\%$$

$$P_M = \frac{2,24\text{g}}{109,193\text{g}} * 100\% = 2,05\%$$

4.1.4. Etapa de centrifugación – filtración



x_6 (Mezcla de frutilla macerada) = 109,193g

x_7 (Extracto bruto de frutilla) = 84,017g

P_E (Pérdidas + torta de filtrado) = 25,176g

$$x_6 = x_7 + P_E$$

$$P_E = x_6 - x_7$$

$$P_E = 109,193 - 84,017$$

$$P_E = 25,176\text{ g}$$

$$C_{6\text{sól}} = 1 - 0,273 - 0,163 - 0,546 - 1,615 \times 10^{-4}$$

$$C_{6\text{sól}} = 0,018$$

Para la corriente x_6

$$x_{6H_2O} = 109,193g * 0,273 = 29,809g$$

$$x_{6\acute{a}cid} = 109,193g * 0,163 = 17,798g$$

$$x_{6OH} = 109,193g * 0,546 = 59,619g$$

$$x_{6ant} = 109,193g * 1,615 \times 10^{-4} = 0,018g$$

$$x_{6s\acute{o}l} = 109,193g * 0,018 = 1,965g$$

Para el extracto bruto (x_7) 84,017g

El grado alcohólico se determinó con un alcoholímetro, dando el valor de 82°GL, la densidad del extracto bruto es:

$$\rho_{x_7} = 0,745 \text{ g/ml}$$

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

Teniendo estos datos, se procede a realizar la corrección

$$C_{7OH} = 0,82 \frac{\text{ml OH}}{\text{ml soluc.}} * \frac{0,793 \frac{\text{g}}{\text{ml OH}}}{0,745 \frac{\text{g}}{\text{ml soluc}}} = 0,872$$

$$x_{7OH} = x_7 * C_{7OH}$$

$$x_{7OH} = 84,017 * 0,872 = 73,263g$$

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

$$x_7 * C_{7\acute{a}cid} = x_9 * C_{9\acute{a}cid} = x_7$$

$$C_{7\acute{a}cid} = \frac{x_{9\acute{a}cid}}{x_7} = \frac{4,708}{84,017} = 0,056$$

$$x_{7\acute{a}cid} = 84,017 * 0,056 = 4,708g$$

Para sólidos

$$x_7 * C_{7s\acute{o}l} = x_9 * C_{9s\acute{o}l} = x_{7s\acute{o}l}$$

$$C_{7sól} = \frac{x_{9sól}}{x_7} = \frac{0,926}{84,017} = 0,011$$

$$x_{7sól} = 84,017 * 0,011 = 1,26g$$

Para las antocianinas

$$x_7 * C_{7ant} = x_9 * C_{9ant} = x_{7ant}$$

$$C_{7ant} = \frac{x_{9ant}}{x_7} = \frac{0,013g}{84,017g} = 1,547 \times 10^{-4}$$

$$x_{7ant} = 84,017 * 1,547 \times 10^{-4} = 0,013g$$

Para el agua

$$1 = C_{7OH} + C_{7ácid} + C_{7sól} + C_{7ant} + C_{7H_2O}$$

$$C_{7H_2O} = 1 - C_{7OH} - C_{7ácid} - C_{7sól} - C_{7ant}$$

$$C_{7H_2O} = 1 - 0,827 - 0,056 - 0,011 - 1,547 \times 10^{-4}$$

$$C_{7H_2O} = 0,105$$

$$x_7 * C_{7H_2O} = x_{7H_2O}$$

$$x_{7H_2O} = 84,017 * 0,105 = 8,822g$$

Para las pérdidas + torta (P_E) 25,176g

Sabiendo que la corriente contiene fracciones de etanol, ácido, agua, antocianinas y sólidos se procede al cálculo de la siguiente manera:

$$P_E * C_{Pácid} = P_E * C_{Pácid} = P_E$$

$$C_{P-ácid} = \frac{P_{Eácid}}{P_E} = \frac{4,708g}{25,176g} = 0,187$$

$$P_{E-ácid} = 25,176 * 0,187 = 4,706g$$

Para sólidos

$$P_E * C_{Psól} = P_E * C_{P-sól} = P_{Esól}$$

$$C_{P-sól} = \frac{P_{Esól}}{P_E} = \frac{1,263g}{25,176g} = 0,05$$

$$P_{Esól} = 25,176 * 0,05 = 1,26g$$

Para las antocianinas

$$P_E * C_{Pant} = P_E * C_{Pant} = P_{Eant}$$

$$P_E * C_{Pant} = P_E * C_{P-ant} = P_{Eant}$$

$$C_{Pant} = \frac{P_{Eant}}{P_E} = \frac{0,018g}{25,176g} = 7,149 \times 10^{-4}$$

$$P_{Eant} = 25,176 * 7,149 \times 10^{-4} = 0,018g$$

Para el agua

$$P_E * C_{P-H2O} = P_E * C_{P-H2O} = P_{E-H2O}$$

$$C_{P-H2O} = \frac{2,517}{25,176g} = 0,099$$

$$P_{E-H2O} = 25,176 * 0,099 = 2,517g$$

Para el etanol

$$1 = C_{POH} + C_{Pácid} + C_{Psól} + C_{Pant} + C_{PH2O}$$

$$C_{POH} = 1 - C_{PH2O} - C_{Pácid} - C_{Psól} - C_{Pant}$$

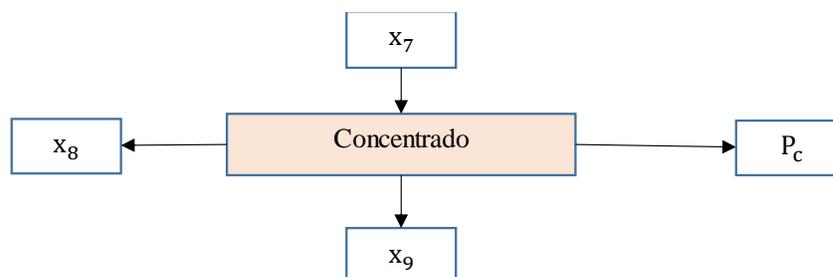
$$C_{P-OH} = 1 - 0,099 - 0,187 - 0,05 - 7,149 \times 10^{-4}$$

$$C_{P-OH} = 0,663$$

$$P_E * C_{P-OH} = P_{EOH}$$

$$P_{EOH} = 25,176 * 0,663 = 16,691g$$

4.1.5. Etapa de concentración



$$x_7 \text{ (extracto bruto)} = 84,017\text{g}$$

$$x_8 \text{ (etanol recuperado)} = 48,079\text{g}$$

P_C (Pérdidas por concentrado)

$$x_9 \text{ (Extracto concentrado)} = 13,411\text{g}$$

$$x_7 = x_8 + x_9 + P_C$$

Etanol recuperado (x_8)

Se empleo un alcoholímetro, obteniendo un valor de 73°GL , en esta condición sus parámetros son:

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

$$\rho_{x_8} = 0,84\text{g/ml}$$

En donde:

$$0,73 \frac{\text{ml OH}}{\text{ml soluc}} * \frac{0,793 \frac{\text{g}}{\text{ml OH}}}{0,84 \frac{\text{g}}{\text{ml soluc}}} = 0,689$$

$$X_{8\text{OH}} = X_8 * 0,689$$

$$x_{8\text{OH}} = 48,079 * 0,689 = 33,126\text{g}$$

$$C_{8\text{OH}} = 0,689$$

Para el agua en x_8

$$C_{8\text{H}_2\text{O}} = 1 - C_{8\text{OH}} = 1 - 0,689 = 0,311$$

$$x_{8\text{H}_2\text{O}} = x_8 * C_{8\text{H}_2\text{O}}$$

$$x_{8\text{H}_2\text{O}} = 48,079 * 0,311 = 14,952\text{g}$$

Extracto concentrado de Antocianinas (x_9) 13,411g

Se toman los datos obtenidos de los análisis realizados en CEANID

Para el ácido

$$C_{9\text{ácid}} = \frac{25,75\%}{100\%} = 0,258$$

$$x_{9\text{ácid}} = 13,411 * 0,258 = 3,46\text{g}$$

Para la humedad

$$C_{\text{humedad(OH-H}_2\text{O)}} = \frac{67,24\%}{100\%} = 0,672$$

$$X_{\text{humedad(OH-H}_2\text{O)}} = 13,411 * 0,672 = 9,012\text{g}$$

Para las antocianinas

$$X_{\text{antocianinas}} = \frac{479,158 \text{ mg}}{1\text{l}} * \frac{0,0131}{13,411\text{g}} * 13,411\text{g} = 6,229\text{mg} = 6,229 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$C_{\text{ant}} = \frac{6,229 \times 10^{-3} \text{ g}}{13,411\text{g}} = 4,645 \times 10^{-4}$$

Para sólidos en x_9

$$C_{\text{sól}} = 1 - C_{\text{ácid}} - C_{\text{humedad}} - C_{\text{antocianinas}}$$

$$C_{\text{sól}} = 1 - 0,258 - 0,672 - 4,645 \times 10^{-4} = 0,069$$

$$X_{\text{sól}} = X_9 * C_{\text{sól}}$$

$$X_{\text{sól}} = 13,411 * 0,069 = 0,933\text{g}$$

Para Pérdidas en el Concentrado

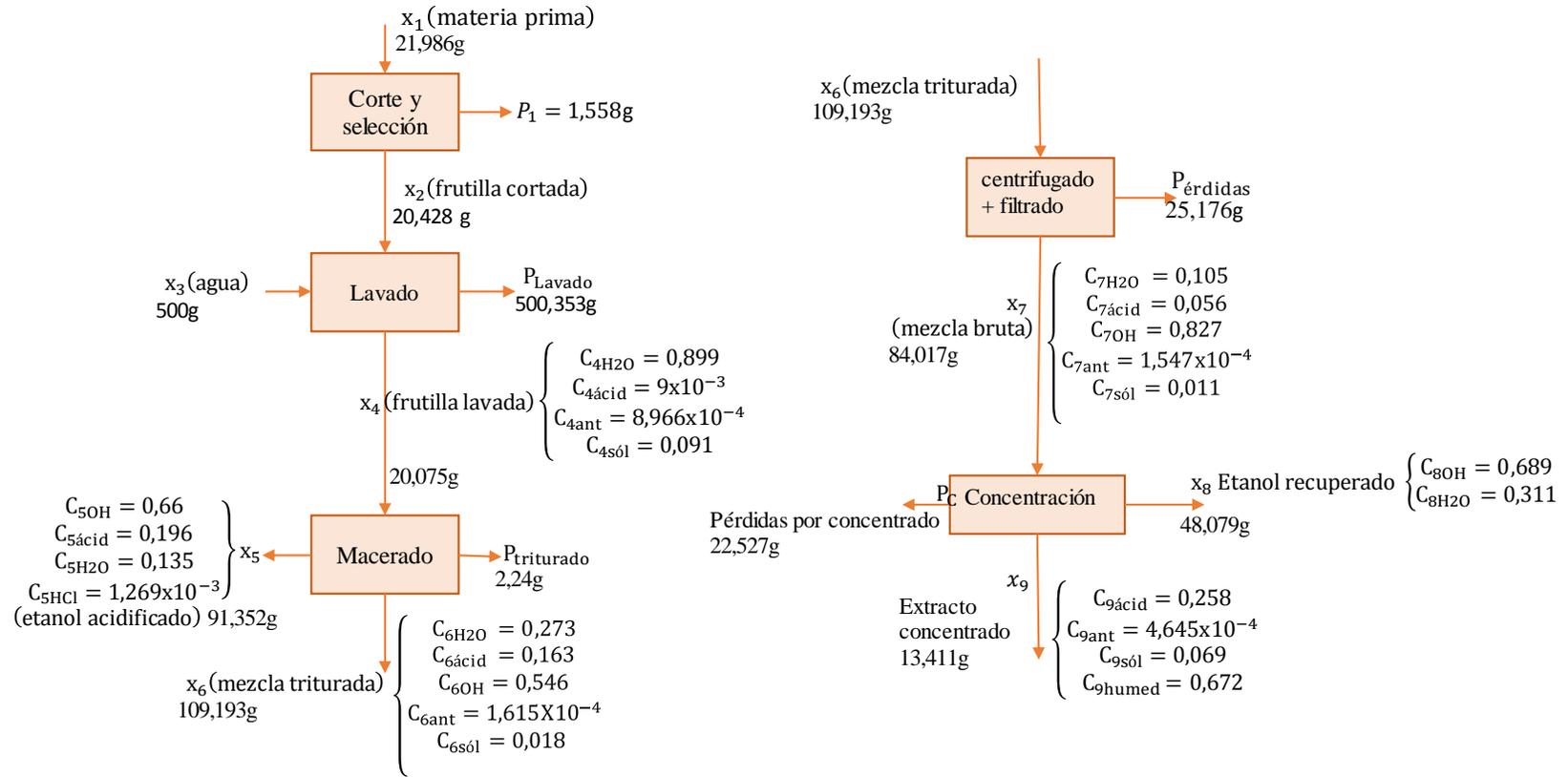
$$P_C = x_7 - x_8 - x_9$$

$$P_C = 84,017 - 48,079 - 13,411$$

$$P_C = 22,527\text{g}$$

$$C_{PC} = \frac{22,527}{84,017} = 0,268$$

Ilustración IV-2 Esquema del balance de materia



Fuente: Elaboración Propia, 2021

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 4000rpm; por lo cual se procede al cálculo de la potencia de trabajo

Datos:

Velocidad trabajo = 4000rpm

Potencia equipo = 550 watts

Velocidad equipo = 10000rpm

Potencia trabajo

$$Q_1 = \frac{550W * 4000rpm}{10000rpm} = 220 W = 0,22kw$$

- Rota-evaporador

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

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

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

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

Datos:

T_{baño} : 40°C

T_{sistema}: 35°C

T_i :20°C

masa_{H2O}:3,75kg

masa_{extracto} :0,013kg

masa_{OH} :0,048kg

C_{pOH} :2,513kj/kg°C

C_{pH₂O}: 4,186kj/kg°C

λ_{OH}: 845kj/kg

Balance en el sistema de evaporación

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

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

$$Q_{\text{Entregado}} = 3,750\text{kg} * (40-20)^\circ\text{C} * 4,186\text{kj/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Entregado}} = 313,95\text{kj}$$

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

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

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

$$C_{p\text{Extrac}} = \frac{313,95\text{kj} - ((35-20)^\circ\text{C} * 2,513 \frac{\text{kj}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 0,0480789\text{kg})}{(40-20)^\circ\text{C} * 0,01341\text{kg}}$$

$$C_{p\text{Extrac}} = 1163,824\text{kj/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 313,95\text{kj} * \frac{1\text{kw}}{3600\text{kj}} = 0,0872\text{kw}$$

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

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

$$\text{Tiempo} = \frac{313,95\text{kj}}{1,320\text{kj/s}}$$

$$\text{Tiempo} = 237,84 \text{ s}$$

- Evaporación – condensación

Temperatura de salida del serpentín es de 21,5°C

$$Q_3 = Q_4$$

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

$$(\lambda_{\text{OH}} * m_{\text{OH}}) + (m_{\text{OH}} * C_{\text{pOH}} * \Delta T) = m_{\text{condensadorH2O}} * \Delta T * C_{\text{pH2O}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = \frac{(\lambda_{\text{OH}} * m_{\text{OH}}) + (m_{\text{OH}} * C_{\text{pOH}} * \Delta T)}{\Delta T * C_{\text{pH2O}}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = \frac{\left(845 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0,048 \text{kg}\right) + (0,048 \text{kg} * 2,513 * (20 - 21,5)^\circ\text{C})}{(21,5 - 20)^\circ\text{C} * 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}}$$

$$m_{\text{condensadorH2O}} = 6,441 \text{kg}$$

$$Q_4 = 6,441 \text{kg} * \frac{4,186 \text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (21,5 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 40,445 \text{kJ} * \frac{1 \text{kW}}{3600 \text{kJ}} = 0,011 \text{kW}$$

CAPÍTULO V
ANÁLISIS Y RESULTADO

V. CAPÍTULO

ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1. Materia Prima

5.1.1. Análisis de la materia prima, frutilla variedad Albion y San Andreas

Se realizó el análisis fisicoquímico de la frutilla utilizada en el presente proyecto en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), para las dos variedades de frutilla; Albión y San Andreas, además se contempló el tiempo de post cosecha, que son un día y tres días.

- A continuación, se presentan los análisis de la materia prima en sus dos variedades, tiempo de post cosecha, un día.

Tabla V-0-1 Análisis fisicoquímico frutilla variedad Albión y San Andreas, tiempo post cosecha, un día

Análisis fisicoquímico de la frutilla, 1 día de post cosecha			
Parámetro	Unidad	Resultado	
		Albion	San Andreas
Acidez (como ácido cítrico)	%	0,96	0,90
Azúcares totales	%	6,82	6,6
Ceniza	%	0,42	0,42
Fibra	%	0,31	0,22
Grasa	%	0,2	0,12
Hidratos de Carbono	%	8,81	8,24
Humedad	%	89,3	89,9
pH (20°C)		3,62	3,64

Análisis fisicoquímico de la frutilla, 1 día de post cosecha			
Parámetro	Unidad	Resultado	
		Albion	San Andreas
Proteínas (%)	%	0,96	1,1
Sólidos solubles	°Brix	9	9,3
Valor energético	Kcal/100g	40,88	38,44

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, 2021

- Análisis de materia prima, tiempo de post cosecha, tres días.

Tabla V-0-2 Análisis fisicoquímico frutilla variedad Albión y San Andreas, tres días post cosecha

Análisis fisicoquímico de la frutilla, 3 días de post cosecha			
Parámetros	Unidad	Resultado	
		Albión	San Andreas
Acidez (como ácido cítrico)	%	0,94	0,91
Azúcares totales	%	5,89	4,71
Ceniza	%	0,42	0,52
Fibra	%	0,23	0,24
Grasa	%	0,02	0,01
Hidratos de Carbono	%	9,84	7,60
Humedad	%	88,57	90,76
pH (20°)		3,64	3,62
Proteínas	%	0,92	0,87

Análisis fisicoquímico de la frutilla, 3 días de post cosecha			
Parámetro	Unidad	Resultado	
		Albi3n	San Andreas
S3lidos solubles	°Brix	10,8	8,3
Valor energ3tico	Kcal/100g	43,22	33,97

Fuente: Centro de An3lisis, Investigaci3n y Desarrollo CEANID, 2021

5.1.2. Antocianinas en Frutilla

Para determinar la cantidad de antocianinas presentes en la materia prima se sigue el procedimiento descrito en el *Capítulo III*, no obstante, se cambia el solvente por metanol acidificado con HCl para lograr una mayor extracci3n; dicho proceso se realiza tanto para la variedad Albi3n y San Andreas realizando dos experiencias para cada una; los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla V-0-3 Antocianinas presentes en materia prima, frutilla variedad Albi3n y San Andreas

N°	Longitud de onda (nm)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	495	700	495	700	mg/l	mg/l
1SA	0,764	0,044	0,318	0,028	907,4985	903,278
R3plica	0,752	0,038	0,307	0,019	899,0566	
1 Alb	0,737	0,033	0,299	0,013	882,1729	885,339
R3plica	0,735	0,039	0,3	0,025	888,5043	

.Fuente: Elaboraci3n Propia, 2021

5.2.Extracto obtenido

5.2.1. Análisis del Extracto de antocianinas obtenido

Se realizó el análisis fisicoquímico al extracto concentrado de antocianinas de frutilla de la variedad San Andreas con tiempo post cosecha de 1 día, solvente acidulado a pH 1, debido a que es el extracto que presentó mayor contenido de antocianinas, dicho análisis se realizó en instalaciones del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), tomando los siguientes parámetros:

Tabla V- 0-4 Resultados de análisis de Extracto concentrado de antocianinas obtenido

Frutilla variedad "San Andreas"		
Parámetros	Unidad	Resultado
Acidez (como ácido cítrico)	%	25,75
Azúcares totales	%	4,61
Ceniza	%	0,39
Fibra	%	n.d.
Grasa	%	n.d.
Hidratos de Carbono	%	32,06
Humedad	%	67,24
pH (20°C)		1,60
Proteínas	%	0,31
Sólidos solubles	°Brix	31,9
Valor energético	Kcal/100g	129,48

Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo, CEANID

5.2.1.1. Antocianinas en el Extracto Obtenido

A continuación, se describe la metodología y el procedimiento llevado a cabo para el análisis de la concentración de antocianinas presentes en el extracto

5.2.1.2. Método de pH Diferencial

El método de pH Diferencial se basa en las transformaciones estructurales que desarrollan las antocianinas debido al cambio de pH que estas manifiestan en el espectro al estar en presencia de distintas absorbancias permitiendo una rápida y segura forma de medir el total de antocianinas totales; además de que a pH 1 estas se muestran en forma altamente coloreada y en pH 4,5 predomina su forma incolora (Jiménez, Serrano Flores, & Giusti, 2009).

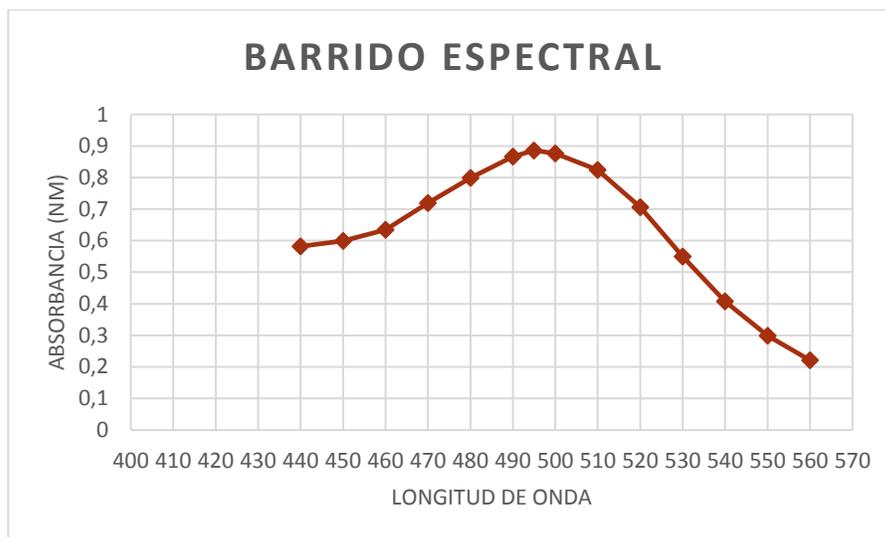
5.2.1.3. Procedimiento

Para la cuantificación de antocianinas totales se procede a determinar la longitud de onda de máxima absorbancia para el extracto obtenido.

- **Determinación del $\lambda_{\text{máximo}}$**

Para la determinación del $\lambda_{\text{máximo}}$ se realiza un barrido espectral, en donde se realizaron las lecturas desde 440-560nm y se toma la que genere mayor absorbancia respectivamente; la longitud de onda óptima determinada es de 495nm.

Ilustración V-0-1 Determinación de la longitud de onda



Fuente: Elaboración Propia, 2021

- Se toma una alícuota de 0,25ml y se le agrega 7ml de solución buffer KCl pH 1, las mediciones fueron realizadas a 495nm (máxima longitud de onda determinada) y a 700nm respectivamente. Se repitió el procedimiento con la solución buffer pH 4,5 de acetato de Sodio siguiendo el *Protocolo de Análisis* (Alvarado, 2015)

Las lecturas son realizadas en un espectrofotómetro UV-visible frente a un blanco de agua destilada.

5.2.1.4. Cuantificación del total de antocianinas

El contenido de antocianinas fue calculado como pelargonidina-3-glucósido, siguiendo las siguientes fórmulas:

Para la determinación de la absorbancia

$$\Delta T = (A_{495} - A_{700})_{\text{pH}=1} - (A_{495} - A_{700})_{\text{pH}=4,5}$$

Para la concentración de antocianinas totales:

$$AT \text{ (mg/l)} = \frac{\Delta A * Pm * FD * 1000}{\epsilon * l}$$

Donde.

AT: Antocianinas totales en mg/l expresado como pelargonidina 3-glucósido

A: Absorbancia a 495 nm

FD: Factor de dilución

PM: Peso molecular de la pelargonidina 3-glucósido 433,2g/mol

ϵ : Coeficiente de extinción molar de la pelargonidina 3-glucósido, 15600 L/cm*mol

l: Longitud de paso de celda, 1cm

1000:Factor de conversión de gramos a miligramos

Tabla V-0-5 Resultados de análisis de Antocianinas

Variedad Albion						
N°	Longitud de onda (λ)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	495	700	495	700	mg/l	mg/l
1	0,491	0,088	0,102	0,013	252,867	253,672
1 ^a	0,513	0,081	0,133	0,017	254,477	
2	0,658	0,049	0,055	0,015	458,221	467,884
2 ^a	0,691	0,058	0,056	0,016	477,547	
3	0,21	0,005	0,042	0,003	133,681	131,265
3 ^a	0,205	0,004	0,045	0,004	128,849	
4	0,595	0,051	0,167	0,038	334,203	338,632
4 ^a	0,602	0,046	0,176	0,046	343,061	

Variedad Albion						
N°	Longitud de onda (λ)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	495	700	495	700	mg/l	mg/l
5	0,345	0,016	0,045	0,009	235,955	233,137
5 ^a	0,334	0,017	0,038	0,007	230,318	
6	0,827	0,038	0,307	0,038	418,76	417,955
6 ^a	0,886	0,088	0,312	0,032	417,149	
7	0,196	0,02	0,043	0,011	115,964	112,743
7 ^a	0,185	0,019	0,039	0,009	109,522	
8	0,725	0,032	0,287	0,027	348,698	347,490
8 ^a	0,729	0,041	0,276	0,018	346,282	
Variedad San Andreas						
N°	Longitud de onda (λ)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	495	700	495	700	mg/l	mg/l
1	0,375	0,062	0,025	0,013	242,398	244,411
1S.A:	0,381	0,056	0,029	0,01	246,424	

Variedad San Andreas						
N°	Longitud de onda (λ)				Resultados	
	pH 1		pH 4,5		AT	Promedio
	495	700	495	700	mg/l	mg/l
2	0,691	0,017	0,113	0,011	460,636	469,897
2S.A.	0,707	0,015	0,109	0,012	479,158	
3	0,356	0,013	0,146	0,006	163,477	162,269
3S.A.	0,347	0,011	0,143	0,007	161,062	
4	0,57	0,017	0,082	0,007	384,937	372,857
4S.A.	0,595	0,066	0,097	0,016	360,778	
5	0,369	0,026	0,069	0,01	228,707	233,942
5S.A.	0,384	0,027	0,078	0,018	239,176	
6	0,728	0,045	0,17	0,009	420,371	421,579
6S.A.	0,735	0,043	0,175	0,008	422,786	
7	0,251	0,029	0,108	0,019	107,106	106,301
7S.A.	0,247	0,032	0,104	0,02	105,495	
8	0,609	0,018	0,182	0,008	335,813	340,243
8S.A.	0,631	0,02	0,189	0,006	344,672	

Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.2.2. Análisis de porcentaje de recuperación de Antocianinas

Para el presente análisis se tomará en cuenta el rendimiento obtenido y teórico, para lo cual se procederá a la determinación del modelo matemático.

5.2.2.1. Rendimiento de antocianinas obtenido

Para el cálculo del rendimiento en la extracción de antocianinas, tomamos la siguiente ecuación:

$$\% \eta_{\text{observado}} = \frac{CA_{\text{Extracto}}}{CA_{\text{Materia Prima}}} * 100\%$$

Donde:

$\eta_{\text{observado}}$: Porcentaje de rendimiento observado de extracción de antocianinas

CA_{Extracto} : Cantidad de antocianinas presentes en el extracto obtenido

$CA_{\text{Materia prima}}$: Cantidad de antocianinas presentes en la frutilla

Tabla V-0-6 Rendimiento porcentual de antocianinas en los extractos

Variedad Albión				
N°	pH	Relación materia prima solvente	Tiempo post cosecha	$\% \eta_{\text{observado}}$
1	1	1:3	1d	28,562
1 ^a .	1	1:3	1d	28,744
2	1	1:5	1d	51,756
2 ^a .	1	1:5	1d	52,868
3	3	1:3	1d	15,099
3 ^a .	3	1:3	1d	14,554
4	3	1:5	1d	37,748
4 ^a .	3	1:5	1d	38,749

Variedad Albi3n				
N^o	pH	Relaci3n materia prima solvente	Tiempo post cosecha	%η observado
5	1	1:3	3d	26,651
5 ^a .	1	1:3	3d	26,015
6	1	1:5	3d	47,299
6 ^a .	1	1:5	3d	47,117
7	3	1:3	3d	13,098
7 ^a .	3	1:3	3d	12,370
8	3	1:5	3d	39,386
8 ^a .	3	1:5	3d	39,113
Variedad San Andreas				
N^o	pH	Relaci3n materia prima solvente	Tiempo post cosecha	% η observado
1	1	1:3	1d	26,835
1S.A.	1	1:3	1d	27,281
2	1	1:5	1d	50,996
2S.A.	1	1:5	1d	53,047
3	3	1:3	1d	18,098
3S.A.	3	1:3	1d	17,830
4	3	1:5	1d	42,616
4S.A.	3	1:5	1d	39,941
5	1	1:3	3d	25,319
5S.A.	1	1:3	3d	26,479

Variedad San Andreas				
N°	pH	Relación materia prima solvente	Tiempo post cosecha	% $\eta_{\text{observado}}$
6	1	1:5	3d	46,538
6S.A.	1	1:5	3d	46,806
7	3	1:3	3d	11,857
7S.A.	3	1:3	3d	11,679
8	3	1:5	3d	37,177
8S.A.	3	1:5	3d	38,158

Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.2.2.2. Rendimiento teórico

Para determinar dicho rendimiento, se hace uso de la herramienta SPSS 22.0; mediante el cual se realiza el tratamiento de las variables codificadas y datos obtenidos en las experiencias.

- **Análisis de Varianza Univariante**

Se realiza un Análisis de Varianza Univariante para determinar la influencia de las variables establecidas y como estas influyen en cada una de las experiencias; las variables independientes son variedad de frutilla (Albión y San Andreas), pH (1 y 3), tiempo post cosecha (1 y 3 días) y relación materia prima/solvente (1:3 y 1:5); siendo el rendimiento la variable de respuesta.

A continuación, se presenta la tabla de los factores inter-sujeto

Ilustración V-2 Factores Inter-Sujeto

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Ph	-1.00	pH=1	16
	1.00	pH=3	16
Proporción	-1.00	Proporción materia prima/ solvente 1:3	16
	1.00	Proporción materia prima/solvente 1:5	16
Post cosecha	-1.00	1 día post cosecha	16
	1.00	3 días post cosecha	16
Variedad de Frutilla	-1.00	Albion	16
	1.00	San Andreas	16

Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

Ilustración V-3 Pruebas de efectos inter-sujetos

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Rendimiento % de antocianinas

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5694.205 ^a	10	569.420	261.358	.000
Intercept	33855.237	1	33855.237	15539.205	.000
Ph	1080.016	1	1080.016	495.716	.000
Proporción	4510.317	1	4510.317	2070.189	.000
Tiempo	80.407	1	80.407	36.906	.000
Variedad	.006	1	.006	.003	.958
pH * Proporción	8.709	1	8.709	3.998	.059
pH * Tiempo	1.591	1	1.591	.730	.402
pH * Variedad	6.148	1	6.148	2.822	.108
Proporción * Tiempo	.418	1	.418	.192	.666
Proporción * Variedad	.000	1	.000	.000	.988
Tiempo * Variedad	6.591	1	6.591	3.025	.097
Error	45.753	21	2.179		
Total	39595.194	32			
Corrected Total	5739.957	31			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .988)

Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

La tabla nos muestra que las variables Variedad, pH*Tiempo, Proporción*Tiempo y Proporción*Variedad no son significativas; por lo cual no serán consideradas.

- **Modelo Matemático**

Para la determinación de dicho modelo, se realiza una Regresión Lineal considerando las variables significativas; estas son pH, Proporción materia prima/solvente y Tiempo de post cosecha, donde la variable dependiente es el “rendimiento de antocianinas.”

En la siguiente tabla se muestran las combinaciones y la codificación de estas variables:

Tabla V-0-7 Variables codificadas para la Regresión

N°	pH	Proporción materia Prima/solvente	Tiempo Post Cosecha	Rendimiento % observado
1	-1	-1	-1	28,562
2	-1	1	-1	51,756
3	1	-1	-1	15,099
4	1	1	-1	37,748
5	-1	-1	1	26,651
6	-1	1	1	47,299
7	1	-1	1	13,1
8	1	1	1	39,385
9	-1	-1	-1	26,835
10	-1	1	-1	50,996
11	1	-1	-1	18,098
12	1	1	-1	42,615
13	-1	-1	1	25,319
14	-1	1	1	46,538
15	1	-1	1	11,857

N°	pH	Proporción materia Prima/solvente	Tiempo Post Cosecha	Rendimiento % observado
16	1	1	1	37,177
17	-1	-1	-1	28,743
18	-1	1	-1	52,868
19	1	-1	-1	14,553
20	1	1	-1	38,749
21	-1	-1	1	26,014
22	-1	1	1	47,117
23	1	-1	1	12,370
24	1	1	1	39,113
25	-1	-1	-1	27,281
26	-1	1	-1	53,046
27	1	-1	-1	17,830
28	1	1	-1	39,940
29	-1	-1	1	26,478
30	-1	1	1	46,805
31	1	-1	1	11,679
32	1	1	1	38,157

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Las siguientes figuras reflejan un breve resumen del modelo matemático dado y del análisis Anova para el rendimiento del extracto de antocianinas de frutilla.

Ilustración V-4 Resumen del modelo matemático del rendimiento de Extracto de antocianinas de frutilla

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.994 ^a	.988	.987	1.57228

a. Predictors: (Constant), Post cosecha, Proporción, pH

b. Dependent Variable: Rendimiento % de antocianinas

Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

Los resultados del Análisis de Varianza Anova nos indican el nivel de significancia; ya que $R=0,994$, se comprueba que el modelo determinado es el correcto

Ilustración V-5 Resultados de Análisis de Varianza

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5670.740	3	1890.247	764.647	.000 ^a
	Residual	69.217	28	2.472		
	Total	5739.957	31			

a. Predictors: (Constant), Post cosecha, Proporción, pH

b. Dependent Variable: Rendimiento % de antocianinas

Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

Los coeficientes para el Modelo Matemático del rendimiento del extracto de antocianinas de frutilla es el siguiente:

Ilustración V-6 Coeficientes del Modelo Matemático

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error				Beta	Lower Bound
	1 (Constant)	32.527	.278		117.027	.000	31.957
Ph	-5.810	.278	-.434	-20.902	.000	-6.379	-5.240
Proporción	11.872	.278	.886	42.714	.000	11.303	12.441
Post cosecha	-1.585	.278	-.118	-5.703	.000	-2.154	-1.016

a. Dependent Variable: Rendimiento % de antocianinas

Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

La anterior tabla define los coeficientes que acompañarán la ecuación matemática para la obtención de extracto de antocianinas de frutilla:

$$Y = 32,527 - 5,81X_1 + 11,872X_2 - 1,585X_3$$

Donde:

Y = rendimiento % de antocianinas teórico

X₁ = pH

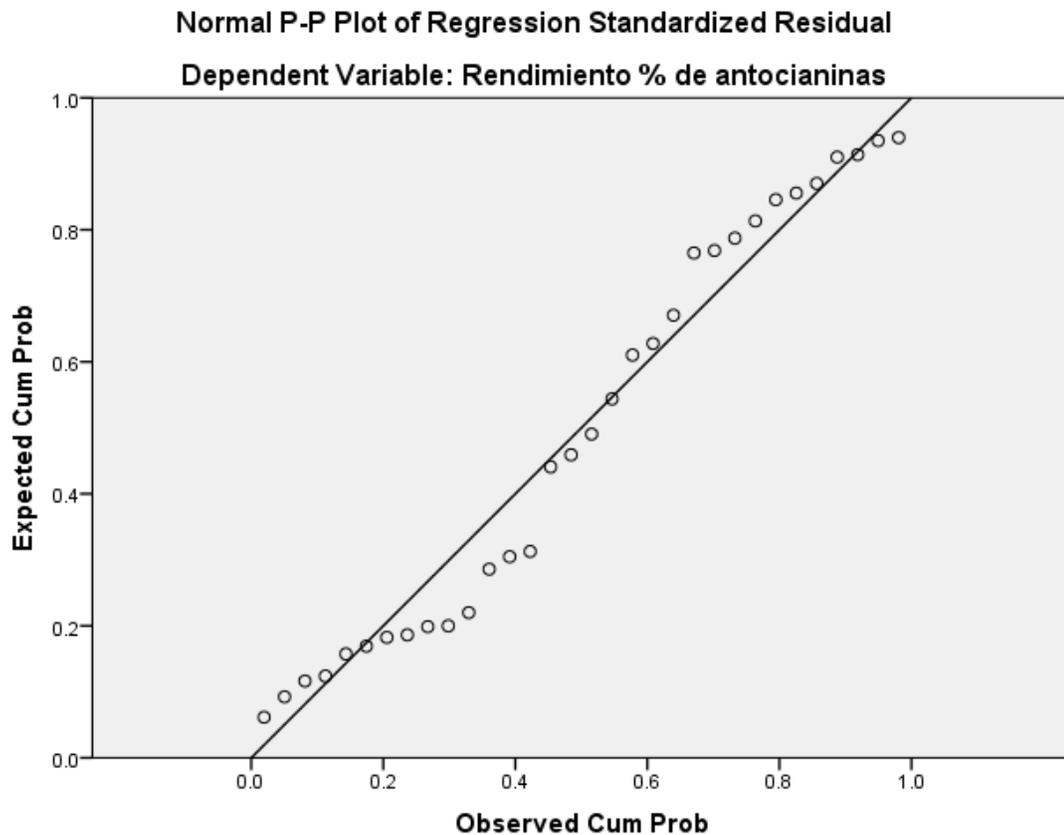
X₂ = Proporción materia prima/solvente

X₃ = Tiempo post cosecha

Todas estas variables se encuentran introducidas en la ecuación de recuperación porcentual de antocianinas.

Por otro lado, el gráfico de la regresión lineal nos indica que tanto se ajustan los puntos al modelo al seleccionado, estos en su mayoría no se encuentran dispersos, por lo que el modelo es correcto.

Ilustración V-0-7 Gráfico del modelo matemático



Fuente: Elaboración Propia, SPSS 22.0

El nuevo rendimiento es al que denominamos rendimiento teórico, este es dado a partir de las variables significativas, como resultado de un ajuste realizado por regresión lineal, de donde se calcula la recuperación porcentual de antocianinas, expresada por la siguiente expresión:

$$\%R_{\text{antocianinas}} = \frac{\eta_{\text{observado}}}{\eta_{\text{teórico}}} * 100\%$$

Tabla V-0-8 Resultado de Recuperación Porcentual de Antocianinas

%ηobservado	%ηteórico	Error	% Rantocianinas
28,561	28,050	-0,510	101,818
51,756	51,794	0,034	99,934
15,099	16,430	1,330	91,905
37,748	40,174	2,424	93,966
26,65	24,880	-1,770	107,114
47,299	48,624	1,324	97,277
13,098	13,260	0,160	98,793
39,385	37,004	-2,386	106,448
26,835	28,050	1,210	95,686
50,996	51,794	0,804	98,447
18,098	16,430	-1,668	110,164
42,615	40,174	-2,446	106,088
25,319	24,880	-0,439	101,768
46,538	48,624	2,084	95,714
11,857	13,260	1,403	89,442
37,177	37,004	-0,176	100,476
28,743	28,050	-0,693	102,459
52,868	51,794	-1,074	102,073
14,553	16,430	1,877	88,558
38,749	40,174	1,424	96,455
26,014	24,880	-1,134	104,542

% η observado	% η teórico	Error	% Rantocianinas
47,117	48,624	1,504	96,907
12,370	13,260	0,890	93,288
39,113	37,004	-2,106	105,691
27,281	28,050	0,769	97,255
53,046	51,794	-1,256	102,425
17,830	16,430	-1,400	108,521
39,940	40,174	0,234	99,417
26,478	24,880	-1,598	106,431
46,805	48,624	1,814	96,269
11,679	13,260	1,581	88,084
38,157	37,004	-1,156	103,124

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Ilustración V-0-8 Gráfica del rendimiento teórico, obtenido y error



Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.3. Color del Extracto obtenido

El color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula; como menciona (Garzón, 2008), el incremento en la metoxilación produce coloraciones rojas.

En la siguiente tabla se puede observar el tinte visible según la longitud de onda máxima correspondiente.

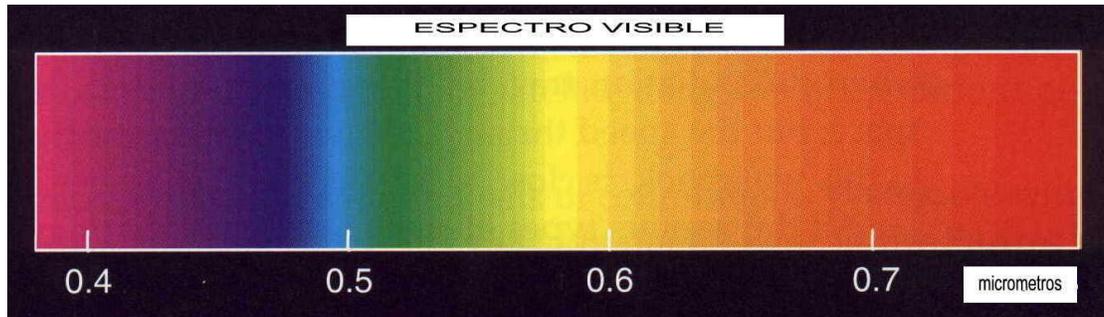
Tabla V-0-9 Tinte visible según longitud de onda

Longitud de onda máximo	Absorbe en	Tinte visible
400-435	Violeta	Amarillo-verde
-480	Azul	Amarillo
-490	Azul-verde	Naranja
-500	Verde-azul	Rojo
-560	Verde	Púrpura
-580	Verde-amarillo	Violeta
-595	Amarillo	Azul
-605	Naranja	Azul-verde
-650	Rojo	Verde-azul
-750	Púrpura	Verde

Fuente: (Marcano, 2018)

El λ óptimo determinado es de 495; según la siguiente tabla, el color que se absorbe es un azul-verde y el tinte visible es un naranja rojizo.

Ilustración V-0-9 Espectro visible



Fuente: (Velasco, Flores, & Nuñez, 1997)

Ilustración V-0-10 Extracto de antocianinas de frutilla obtenido



Fuente: Elaboración Propia, 2021

La ilustración anterior nos muestra el extracto de antocianinas obtenido, es de color naranja rojizo, el cual cumple con los parámetros dados con la bibliografía.

5.4. Antocianinas presentes en el extracto concentrado

Estudios realizados por (García-Viguera & Bridle, 1996) muestran que la antocianina predominante en las fresas es la Pelargonidina-3-glucósido; esta es la responsable del característico color rojizo, (Bakker J, 1992) en su reporte determinó que el 79% de antocianinas presentes en la frutilla es pelargonidina-3-glucósido, la segunda antocianina predominante se define como cianidina-3-glucósido junto con otros cuatro compuestos coloreados derivados de la pelargonidina en cantidades de 0,5 a 5%

Debido a que la longitud de onda máxima determinada es de 495nm, según la *tabla V-10*, la antocianina característica del Extracto de Antocianinas obtenido de frutilla es la pelargonidina-3-glucósido, seguido en menor cantidad de la cianidina.

Tabla V-0-10 Longitudes de onda y colores correspondientes aproximados en el espectro visible

Aglicona	Sustitución		$\lambda_{\text{máximo}}$
	R1	R2	Tinte visible
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul-rojo)
Peonidina	OCH3	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH3	OH	508 (azul-rojo)
Malvidina	OCH3	OCH3	510 (azul-rojo)

Fuente: (Garzón, 2008)

5.5. Resultados del Balance de Materia y Energía

5.5.1. Resultados para el balance de materia

Tabla V-0-11 Resultados del balance de materia

Balance de Materia					
Corriente	Descripción	Gramos (g)	Fracciones		
x ₁	Materia prima, frutilla	21,986			
x ₂	Materia prima cortada	20,428			
P ₁	Pérdidas por corte	1,558			
x ₃	Agua para lavado	500			
x ₄	Materia prima lavada	20,075	C _{4H2O}	Fracción másica de agua	0,899
			C _{4ácid}	Fracción másica de ácido	9x10 ⁻³
			C _{4antocianinas}	Fracción másica antocianinas	8,966x10 ⁻⁴
			C _{4sol}	Fracción másica de sólidos	0,091
P _L	Pérdidas por lavado	500,353			
x ₅	Etanol acidificado	91,352	C _{5OH}	Fracción másica OH	0,666
			C _{5ácid}	Fracción másica ácido cítrico	0,196

Balance de Materia					
Corriente	Descripción	Gramos (g)	Fracciones		
x ₅	Etanol acidificado	91,352	C _{5H₂O}	Fracción másica de agua	0,135
			C _{5HCl}	Fracción másica de HCl	1,269x10 ⁻³
x ₆	Mezcla de frutilla macerada	109,193	C _{6H₂O}	Fracción másica de agua	0,273
			C _{6ácid}	Fracción másica de ácido	0,163
			C _{6OH}	Fracción másica de OH	0,546
			C _{6antocianinas}	Fracción másica de antocianinas	1,615x10 ⁻⁴
			C _{6sol}	Fracción másica de sólidos	0,018
P _T	Pérdidas por maceración	2,24			
x ₇	Mezcla de extracto bruto	84,017	C _{7OH}	Fracción másica de OH	0,827
			C _{7ácid}	Fracción másica de ácido	0,056
			C _{7sól}	Fracción másica de sólidos	0,011
			C _{7antocianinas}	Fracción másica de antocianinas	1,547x10 ⁻⁴
			C _{7H₂O}	Fracción másica de agua	0,105

Balance de Materia					
Corriente	Descripción	Gramos (g)	Fracciones		
P _E	Pérdidas por extracción	25,176			
x ₈	Etanol recuperado	48,079	C _{8OH}	Fracción másica de OH	0,689
			C _{8H2O}	Fracción másica de agua	0,311
x ₉	Extracto concentrado	13,411	C _{9ácid}	Fracción másica de ácido	0,258
			C _{9Humedad}	Fracción másica de humedad	0,672
			C _{9antocianinas}	Fracción másica de antocianinas	4,645x10 ⁻⁴
			C _{9sól}	Fracción másica de sólidos	0,069
P _C	Pérdidas por concentrado	22,527			

Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.5.2. Resultados para el balance de energía

Tabla V-0-12 Resultados del balance de energía

Balance de energía		
Equipo	Descripción	Kilowatt (kw)
Centrífuga	Q ₁	0,22
Rota-evaporador	Q ₂	0,087
	Q ₃	0,011

Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.6. Análisis de costos

5.6.1. Costo del Estudio

El costo del presente estudio es determinado mediante la evaluación de gastos directos e indirectos realizados en el transcurso del proyecto hasta su culminación, estos se detallan a continuación:

Tabla V-0-13 Costos en Materia Prima, solventes y reactivos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Materia Prima	Frutilla	Kg	8,5	20	170
Solventes	Etanol	L	8	12	96
	Metanol	L	0,2	200	40
Reactivos	Ácido cítrico	Kg	1	25	25
	HCl concentrado	Ml	50	0,4	20
	KCl	G	20	2,5	50
	Solución buffer NaC ₂ H ₃ O ₂ pH 4,5	L	0,5	200	100
	Agua destilada	L	5	5	25
Sub total					526

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla V-0-14 Costo 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, 2021

Los materiales de laboratorio fueron dotados por parte del Servicio Departamental Agrario SEDAG, por lo cual el costo no se considera en el “costo total”, no obstante; se detalla el valor de estos para su consideración en la siguiente tabla:

Tabla V-0-15 Costo de materiales de laboratorio

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Vaso de precipitación	50ml	Pza	2	15	30
	100ml	Pza	2	22,5	45
	1000ml	Pza	2	85	170
Pipeta	1ml	Pza	1	19,5	19,5
	10ml	Pza	2	27,5	55
Varilla de vidrio	Vidrio	Pza	1	32	32
Vidrio reloj	Vidrio	Pza	1	17,5	17,5
Embudo buchner	60mm	Pza	4	120	480
Tubo de ensayo	vidrio 150x15mm	Pza	3	12	36
Sub total (Bs)					885

Fuente: Elaboración Propia, 2021

La siguiente tabla de análisis tanto para la materia prima como para el extracto obtenido, contempla precios al 30% del valor original, emitido por el Centro de Investigación y Desarrollo (CENID)

Tabla V-0-16 Costos de análisis de materia prima

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Frutilla	Acidez	4	9	36
	Azúcares totales	4	30	120
	Ceniza	4	21	84
	Fibra	4	12	48
	Grasa	4	27	108
	Hidratos de Carbono	4	12	48
	Humedad	4	12	48
	pH (20°C)	4	6	24
	Proteína total	4	30	120
	Sólidos solubles	4	6	24
	Valor energético	4	6	24
Sub total (Bs)				684

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla V-0-0-17 Costo de análisis de producto obtenido

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total (Bs)
	Acidez	1	9	9
	Azúcares totales	1	30	30
	Ceniza	1	21	21
	Fibra	1	12	12
	Grasa	1	27	27
	Hidratos de Carbono	1	12	12
	Humedad	1	12	12
	pH	1	6	6
	Proteína total	1	30	30
	Sólidos solubles	1	6	6
	Valor energético	1	6	6
Sub total (Bs)				171

Tabla V-0-18 Costos en material de apoyo

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Pasajes	Mes	7	200	1400
Internet	Mes	7	142	994
Papel	Resma	0,2	30	6
Impresión	Hoja	700	0,5	350
Anillado	-	1	5	5
Empastado	-	3	50	150
Mano de obra	Mes	7	1500	10500
Sub total (Bs)				13405

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla V-0-19 Costos totales del proyecto

Descripción	Costo (Bs)
Detalle de costos de materia prima, reactivos y solventes	526
Detalle de costos de materiales	197
Detalle de costos de análisis realizados	855
Detalle de material de oficina y apoyo	13405
Gastos extras = 0,05% del total	749,15
Total (Bs)	15732,15

Fuente: Elaboración Propia, 2021

5.6.2. Costo de producción

Los costos de producción son estimados a partir del balance de materia y energía realizados para la obtención de extracto de antocianinas en donde es usado 100ml de solución acidificada pH 1 y 21,986g de frutilla variedad San Andreas con 1 día post cosecha.

Tabla V-0-20 Consumo energético

Consumo energético				
Equipo	Potencia (kw)	Tiempo (hr)	Energía (kw/hr)	Valor (Bs)
Centrífuga	0,22	0,33	0,07	0,044
Filtración y bomba	0,57	1	0,57	0,342
Rotavapor	0,09	0,66	0,06	0,039
Total Bs.				0,425

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla V-0-21 Requerimiento de material

Requerimientos de materiales				
Solventes y materia prima	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (Bs)	Total (Bs)
Frutilla	0,02	Kg	20	0,4
Etanol 96°	0,08	Litro	12	0,96
Ácido cítrico	0,017	Kg	25	0,44
Ácido clorhídrico	0,1	ml	0,4	0,04

Solventes y materia prima	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (Bs)	Total (Bs)
Agua				
Baño rotavapor	3,75	Litro	0,07	0,26
Agua para refrigerar	28,13	Litro	0,07	1,97
Lavado	0,5	Litro	0,07	0,04
Material de laboratorio				
Papel filtro	0,13	Pliegue	5	0,63
Botella	1	vidrio 20ml	4	4
Costo energético				0,425
Costo total Bs				9,165

Fuente: Elaboración Propia, 2021

El costo total de producción estimado es de Bs 9,165 para la producción de 13,411g de Extracto de Antocianinas de Frutilla; (conteniendo $6,229 \times 10^{-3}$ g de antocianinas) a partir de 100ml de solución acidificada y 21,986g de materia prima.

Se toma un factor de seguridad de 1,5 por lo tanto el costo de producción es de Bs 13,7 para 13,411g; siendo el costo de 1g de extracto concentrado de antocianinas Bs 1,02.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI. CAPÍTULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A través del cumplimiento de objetivos planteados se determinó que:

- Se utilizó frutilla (fragaria ananassa) de las variedades Albión y San Andreas, cultivadas en la comunidad de Yesera, Tarija; con un tiempo de post cosecha de 1 y 3 días. Los resultados para variedad Albión son:

Tabla VI-0-1 Análisis fisicoquímico de frutilla, variedad Albión

Análisis fisicoquímico, frutilla variedad Albion			
Parámetro	Unidad	1 día post cosecha	3 días post cosecha
Acidez (como ácido cítrico)	%	0,96	0,94
Azúcares totales	%	6,82	5,89
Ceniza	%	0,42	0,42
Fibra	%	0,31	0,23
Grasa	%	0,2	0,02
Hidratos de Carbono	%	8,81	9,84
Humedad	%	89,3	88,57
pH (20°C)		3,62	3,64
Proteínas (%)	%	0,96	0,92
Sólidos solubles	°Brix	9	10,8
Valor energético	Kcal/100g	40,88	43,22

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo, CEANID 2021

Para la variedad San Andreas, se tienen los siguientes resultados:

Tabla VI-0-2 Análisis fisicoquímico de frutilla variedad San Andreas

Análisis fisicoquímico, frutilla variedad San Andreas			
Parámetro	Unidad	1 día de post cosecha	3 días de post cosecha
Acidez (como ácido cítrico)	%	0,90	0,91
Azúcares totales	%	6,6	4,71
Ceniza	%	0,42	0,52
Fibra	%	0,22	0,24
Grasa	%	0,12	0,01
Hidratos de Carbono	%	8,24	7,60
Humedad	%	89,9	90,76
pH (20°)		3,64	3,62
Proteínas	%	1,1	0,87
Sólidos solubles	°Brix	9,3	8,3
Valor energético	Kcal/100g	38,44	33,97

Fuente: Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo, CEANID 2021

- Se determinó que la frutilla de variedad Albión contiene 885,339mg/l de antocianinas totales, mientras que la variedad San Andreas tiene 903,278mg/l; los datos registrados por (Timberlake, 1980) son 127-360mg/kg, además (Morales-Delgado, Téllez-Medina, Rivero-Ramírez, & Arellano-Cárdenas, 2014) determinaron 1026,81-1447,04 mg/kg antocianinas totales en base seca de frutilla; por lo que se considera a la frutilla cultivada en la ciudad de Tarija como una fuente rica en antocianinas.

- Las variables de la fase experimental fueron pH (1 y 3), relación materia prima/solvente (1:3 y 1:5), tiempo post cosecha (1 y 3 días) y variedad de frutilla siendo el diseño factorial de 2⁴.
- Los resultados de la experimentación son:

Tabla VI-3 Resultados generales del proyecto

Parámetro	Descripción	Resultado
Extracto concentrado	X ⁹ ácido: 3,46g X ⁹ sólidos: 0,933g X ⁹ humedad: 9,012g X ⁹ antocianinas: 6,229x10 ⁻³ g	13,411g
Color	Naranja rojizo, con un $\lambda_{\text{máximo}}$ de 495nm	Expresado como Pelargonidina-3-glucósido
Rendimiento máximo	Variables: pH 1, relación materia prima/solvente 1:5, con 1 día de post cosecha y variedad San Andreas	53,046%
Rendimiento mínimo	Variables: pH 3, con 3 días de post cosecha, relación 1:3 de materia prima/solvente, con variedad San Andreas	11,679%
Costo del proyecto	Costo de análisis, materia prima, material de laboratorio y de apoyo.	Bs 15732,15

Fuente: Elaboración Propia, 2021

- El mejor rendimiento de antocianinas observado fue de 53,046% obteniéndose 479,158mg/l de antocianinas donde las variables que optimizaron la extracción fueron pH 1, relación materia prima/solvente 1:5, tiempo de post cosecha de 1 día con variedad San Andreas.

- Las variables significativas en la obtención de Extracto de Antocianinas de Frutilla (fragaria ananassa) son pH, Proporción materia prima/solvente y tiempo post cosecha.
- Los parámetros fisicoquímicos del extracto son:

Tabla VI-0-4 Parámetros fisicoquímicos del extracto concentrado de antocianinas

Extracto concentrado de antocianinas		
Parámetros	Unidad	Resultado
Acidez (como ácido cítrico)	%	25,75
Azúcares totales	%	4,61
Ceniza	%	0,39
Fibra	%	n.d.
Grasa	%	n.d.
Hidratos de Carbono	%	32,06
Humedad	%	67,24
pH (20°C)		1,60
Proteínas	%	0,31
Sólidos solubles	°Brix	31,9
Valor energético	Kcal/100g	129,48

Fuente: Centro de Investigación y Análisis CEANID, 2021

- El costo de producción para 13,411g de Extracto de Antocianinas es de Bs.13,7 (conteniendo $6,229 \times 10^{-3}$ g de antocianinas); siendo el costo de 1g de extracto concentrado de antocianinas Bs 1,02 .

6.2.Recomendaciones

- Según los análisis la variedad de frutilla no es significativa, por lo que se recomienda utilizar este mismo ensayo para analizar todas las variedades de frutilla presentes en el departamento de Tarija con tiempos más aislados, con el fin de analizar su influencia e importancia.
- Trabajar con distintos tipos de solventes de extracción para determinar la influencia en el proceso de extracción como también en intervalos de temperatura diferentes.
- Reutilización del etanol residual del proceso de destilación como desinfectante u otro, puesto que este tiene un grado alcohólico de 73° GL.
- Se recomienda realizar una investigación para determinar su adaptabilidad y uso en matrices alimenticias puesto que al aplicar 1 ml de extracto de antocianinas concentrado en 10ml de yogurt y 3,5ml de este en helado (ver anexo III), se observó un buen acondicionamiento.
- Si se aplica en alimentos, se recomienda realizar un estudio de conservación y actividad antioxidante puesto que las antocianinas tienden a degradarse más rápido si están en estado líquido y a altas temperaturas.