

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Antecedentes**

## **1.2 Generalidades**

El problema de la acumulación de residuos vegetales no utilizados (hojas) considerados como desechos, nos ayuda a crear nuevos usos beneficiosos para las hojas de remolacha, del cual solo se aprovecha la raíz. La remolacha (*Beta vulgaris L.*) es una raíz casi esférica de forma globosa, con un diámetro de entre 5 y 10 cm y un peso entre 80 y 200 gramos. Es una de las plantas de las Amarantáceas, originaria del sur de Europa (Gómez & Duque, 2018).

La variedad roja es un alimento especialmente rico en vitamina C y en flavonoides, antioxidantes que son un potente anticancerígeno, por lo que su ingestión regular dentro de una alimentación equilibrada ayuda a prevenir la aparición de cáncer. También es un protector frente a enfermedades cardiovasculares (Gómez & Duque, 2018).

Las hojas de remolacha están infrautilizadas por falta de conocimiento adecuado, especialmente de su valor nutritivo (Valdes, 2025). Las contienen una gran cantidad de nutrientes, proteínas y vitaminas, entre otros: fósforo, zinc, fibra, antioxidantes, vitamina B6, vitamina K, magnesio, potasio, cobre, manganeso, lo que lleva al mejoramiento de la salud, por ejemplo, una correcta coagulación de la sangre, aumento de la fuerza de los huesos y prevención de osteoporosis (Valdes, 2025).

Las plantas contienen una gran variedad de pigmentos que dan lugar a los colores que en ellas observamos. Obviamente, las flores y los frutos contienen muchas moléculas orgánicas que absorben la luz. Las hojas, tallos y raíces también contienen muchos pigmentos, que incluyen las antocianinas, flavonoides, flavinas, quinonas y

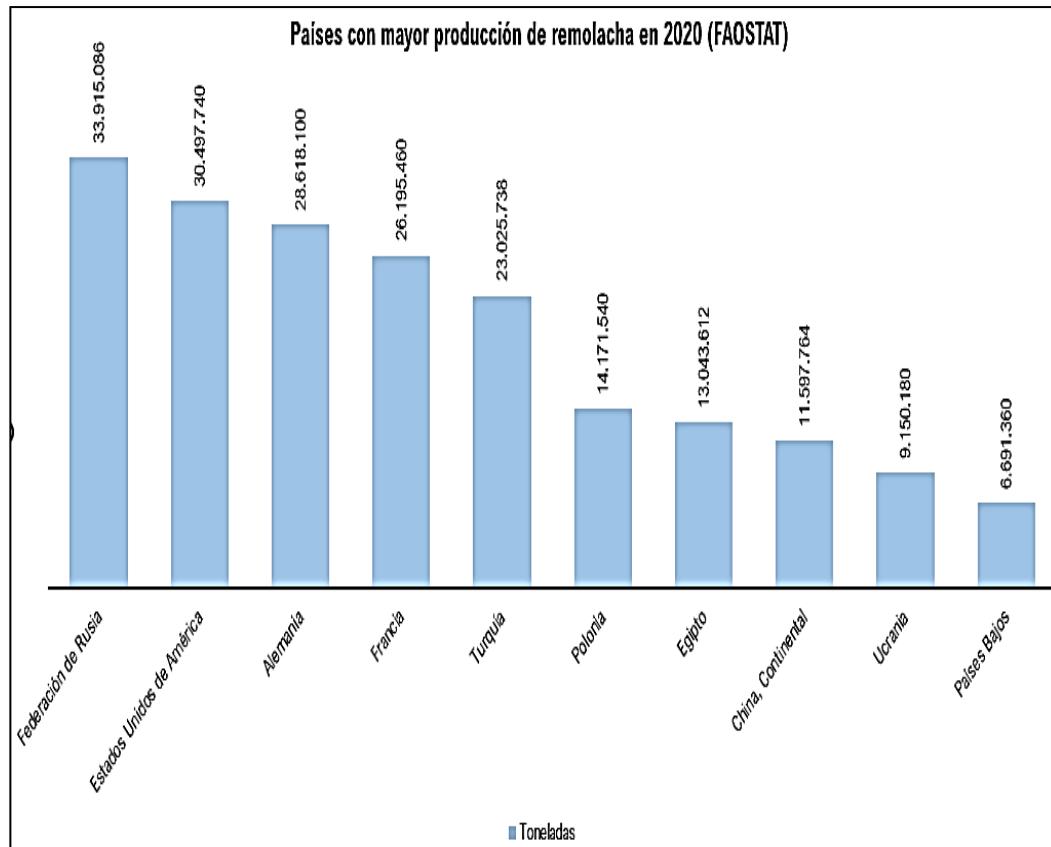
citocromos. Sin embargo, ninguno de estos debe ser considerado como un pigmento fotosintético. Los pigmentos fotosintéticos son los únicos que tienen la capacidad de absorber la energía de la luz solar y hacerla disponible para el aparato fotosintético. En las plantas terrestres hay dos clases de pigmentos fotosintéticos: las clorofillas y los carotenoides. (Plant & Soil Sciences, 2025)

Las clorofillas y sus derivados son pigmentos fotosintéticos ampliamente distribuidos en especies vegetales, las cuales otorgan a las hojas su color verde característico. Estructuralmente, la clorofila es un compuesto tetrapirrolíco (porfirina) sustituido con un átomo de magnesio central, cuya función es absorber luz, y una cadena hidrófoba de fitol con un átomo de magnesio central, cuya función es absorber luz, y una cadena hidrófoba de fitol que mantiene a la clorofila integrada a la membrana del cloroplasto, en donde se localiza este pigmento. Extractos vegetales ricos en clorofillas han presentado actividades biológicas compatibles con la prevención del cáncer, incluyendo actividad antioxidante, antimutagénica y antiinflamatoria, modulación del metabolismo xenobiótico e introducción de apoptosis (Benjamin, 2019).

### **1.3 Producción de Remolacha**

#### ***1.3.1 Producción Internacional***

En 2020 Federación de Rusia fue el principal productor de remolacha en el mundo con 33,915,086 toneladas (13.4%), seguido por Estados Unidos de América con 30,497,740 toneladas (12.1%) y Alemania con 28,618,100 toneladas (11.3%), por lo que estas 3 naciones representaron el 36.8% de la producción mundial (Blog Agricultura, 2025).

**Gráfico 1***Paises con mayor producción de remolacha**Nota.* Tomado de FAOSTAT (2020).

### 1.3.2 Producción Nacional y Regional

**Tabla 1**

*Producción de Hortalizas Betarraga, año agrícola 2023*

Departamento	Producción	Superficie	Rendimiento
COCHABAMBA	4.061	417	9,73
LA PAZ	431	87	4,93
SANTA CRUZ	312	55	5,62
TARIJA	244	44	5,56
CHUQUISACA	144	30	4,82
POTOSÍ	139	31	4,53
ORURO	23	15	1,57
BENI	7	2	3,38
<b>Total</b>	<b>5.361</b>	<b>681</b>	<b>7.87</b>
Producción en tm			
Superficie en ha			
Rendimiento en Tm/ha			

*Nota.* Adaptado de Sistema Integrado de información productiva (2023).

## **1.4 Conceptualización de la idea del Proyecto de Grado, Obtención experimental de extracto de clorofila**

Al realizar un estudio experimental (escala laboratorio) para la extracción de Clorofila a partir de las hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) en el departamento de Tarija, se podrá obtener un producto que es apreciado por el mercado a nivel mundial, por poseer propiedades nutricionales beneficiosas en el sector alimentario.

Así mismo, la utilización de hojas desperdiciadas como fuente de principios activos de gran valor es un proceso que se viene desarrollando desde muchos años atrás, y cada día gana mayor importancia, pues estos productos secundarios en muchos casos son más valiosos que el producto principal y constituyen la base de la conservación y el aprovechamiento integral de los recursos naturales existentes en el medio.

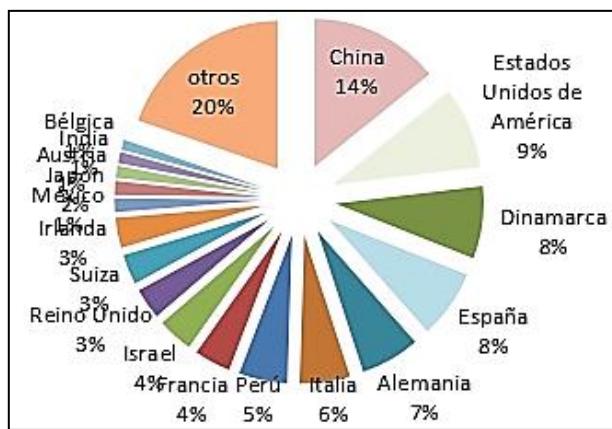
## **1.5 Aspectos del Mercado de Colorantes**

### ***1.5.1 Principales países exportadores de colorantes***

Los principales países exportadores de colorante natural son China y Estados Unidos, con una participación de 14% y 9 % respectivamente, seguido de Dinamarca y España con el 8% de participación en las importaciones a nivel mundial.

## Gráfico 2

*Principales países exportadores de colorantes de origen natural y animal en el año 2018*



*Nota.* Tomado de TRADE-MAP (2018).

### 1.5.2 Principales y potenciales materias primas para la producción de colorantes naturales

Dentro de esta categoría, se proyecta que el mercado de los colorantes naturales tendrá una alta tasa de crecimiento anual entre el 7% y 8% para el período 2016 – 2022, lo cual se explica en parte porque los consumidores prefieren cada vez más lo natural, están más preocupados por lo que consumen y a su vez los consumidores tienen mayor acceso a la información. Además, los colorantes artificiales han sido asociados con efectos negativos en la salud, incluyendo alergias, irritabilidad y déficit atencional, entre otros y contrariamente, los colorantes naturales están siendo asociados con efectos beneficiosos en la salud. Esto se encuentra favorecido por el avance en las tecnologías de extracción de color desde materias primas naturales cual está

favoreciendo la obtención de colorantes naturales más estable y a menor costo (Pino & Zamora, 2017).

**Tabla 2**

*Principales materias primas para la producción de colorantes naturales*

Color	Compuesto	Fuente Naturales más utilizadas
Verde	Clorofilas	Espinaca, alfalfa, otros
Amarillos	Carotenoides Luteína xantofilas Curcumina Otros	Cúrcuma, Marigold o tagete, Cartamo, Pimientos amarillos, Zanahorias
Naranjos y rojos	Carotenoides Incluyen Licopeno, capsantina, capsorrubina	Camote naranjo, Zapallo camote, Pimientos rojos, Aceite de palma, Annatto
Rojo a rojo brillante	Varios incluyen ácido carmínico	Camote rojo, Carmín (es el rojo brillante extraído de la cochinilla <i>Dactylopiuscoccus</i> )
Rojo claro	Betalaínas	Betarraga
Rojos, púrpuras y azules	Antocianinas	Zanahoria Negra, Camote morado, Uva tintorera
Azul	Espirulina	Espirulina
Café	Caramelo	Caramelo, malta, manzana

*Nota.* Tomado de INIA-M.T. P (2017).

## 1.6 Mercado Internacional de colorantes de clorofila

Entre los colorantes naturales más demandados y con una proyección de crecimiento cercana al 5% al 2026, están el carmín, antocianinas, caramelo, annatto,

carotenoides, clorofila, espirulina y otros naturales como betalainas, cantaxantina, antraquinonas, curcumina, cúrcuma y gardenia (Cuesta, 2018).

Sólo el mercado mundial de extractos de clorofila superaría los US\$300 millones para el año 2030 (sólo para el mercado de color y no considerando el mercado de la nutracéutica), con una tasa de crecimiento anual compuesta proyectada entre el 8 a 9%, siendo la formulación líquida la más demandada (Instituto de investigación Agropecuaria [INIA], 2017).

**Tabla 3**

*Perspectivas del mercado de clorofila*

Atributo	Detalles
CAGR del mercado de color clorofila	9,00%
Valoracion de mercado de color clorofila (2023)	151 millones de dolares
Valoracion de mercado de color clorofila (2033)	370,0 millones de dolares

*Nota.* Tomado de Choudhury (2024).

Se proyecta que el mercado de colorante de clorofila alcance los US\$ 151 millones en 2023, con un crecimiento esperado a US\$ 370,3 millones para 2033, a una CAGR significativa del 9,0%.

Los fabricantes de colorantes de clorofila están implementando sólidas estrategias de comercialización, como colaboraciones, asociaciones, fusiones y desinversiones, además de centrarse en tácticas orgánicas para ganar fuerza competitiva. FMI proyecta que el mercado global aumentará a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 9,2 % en términos de volumen hasta 2031 (Choudhury, 2024).

### ***1.6.1 Producción de colorante Clorofila en Bolivia***

Bodylogic comercializa su producto en una Solución concentrada a base de clorofila en proporciones de 250mg/100g , con ingredientes y conservadores naturales, enriquecida con aceites esenciales de hierbabuena, menta, lemongrass y limón. Sabor lemongrass.

Bodylogic es una empresa 100% mexicana que nace en el 2010 por el deseo y visión de un grupo de inversionistas de la Industria Farmacéutica que se dieron a la tarea de fundar una empresa de redes de mercadeo, con la finalidad de brindar la oportunidad a toda persona que desee tener un negocio propio con una mínima inversión. Ofreciendo salud y bienestar a través de la distribución de productos de la más alta calidad, naturales y certificados.

Respecto al mercado nacional se puede apreciar que el precio es de 145 Bs por 250mg de Clorofila, que equivale a 580 bs el Litro de clorofila para el mercado nacional de Bolivia que distribuye la empresa mexicana Bodylogic que se encuentra en el departamento de Santa Cruz en el barrio Los Fortines, calle Asunción S/N,

Esquina Libertad Edificio Copy, Planta Baja.

**Figura 1**

*Extracto de Clorofila*



Así también se encuentra la clorofila concentrada de cannabis como un producto medicinal de venta libre encontrados en farmacias autorizadas, en que satisfacen la demanda por medicamentos de este tipo.

**Tabla 4**

*Clasificación de los colorantes naturales verdes autorizados de acuerdo con diversas regulaciones*

<b>País</b>	<b>Clorofila</b>	<b>Clorofilina</b>	<b>Cu-Clorofila</b>	<b>Cu-Clorofilina</b>	<b>Na- Fe-K-Clorofolina</b>
UE	E140i	E140ii	E141i	E141ii	
USA				73,125	
Japón	177	116	266	265	257
India	6				
China			8,153	8,009	
Chile (RSA)	140		141	141i	141ii
Codex Alimentario	INS140	INS140	INS141i	INS141ii	

*Nota.* Tomado de Vergara et al. (2017).

### **1.6.2 Empresas de colorantes de clorofila a Nivel Internacional**

**Tabla 5**

*Empresas de colorantes de clorofila a Nivel Internacional*

Marca (Colorante natural Clorofila)	Cantidad	Apariencia	Solubilidad
Flavorix		Líquido y polvo	Soluble en agua, polvo y grasa
Sosa Ingredients SL	100 g	Líquido liposoluble	
INSUQUIMICA	0.250 Kg	Líquido al 5%	

Marca (Colorante natural Clorofila)	Cantidad	Apariencia	Solubilidad
Clorofila SIT	20 mg	Comprimidos recubiertos	
HAMMADDELER	1 L	Líquido	Soluble en aceite 8,5%
Peru Nutrition	600 mL	Extracto líquido	Soluble en agua.

*Nota.* Tomado de Vergara et al. (2017).

### ***1.6.3 Planteamiento técnico propuesto***

Realizar un estudio experimental, obteniendo a escala laboratorio extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) mediante extracción por solvente, en el departamento de Tarija. Analizando las variables que afectan la velocidad de extracción y caracterizando el producto para conocer la calidad del mismo.

## **1.7 Objetivos**

### ***1.7.1 Objetivo General***

- Obtener experimentalmente extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) producida en el departamento de Tarija

### ***1.7.2 Objetivos específicos***

- Determinar las características físicas y químicas de la hoja de Remolacha (*Beta Vulgaris L.*) usada para la obtención experimental de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) producida en el departamento de Tarija

- Analizar y seleccionar el proceso tecnológico experimental para la obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija
- Diseñar y ejecutar la fase experimental para la obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija.
- Caracterizar el producto obtenido: clorofila obtenida a partir de hojas de roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija, a escala laboratorio.
- Determinar las Características físicas y químicas de la Clorofila obtenida de las hojas de Remolacha (*Beta Vulgaris L*).
- Determinar el rendimiento del proceso obtención experimental de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija
- Desarrollar el balance de materia y energía para la obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija.
- Determinar los costos de investigación incluyendo el costo estimado de producción para la obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L*) producida en el departamento de Tarija.

## 1.8 Justificación del proyecto de grado

Las nuevas tendencias a consumir productos naturales, incentivan a la industria a desarrollar e innovar productos a partir de estos mismos, creando una gran demanda en la industria Alimentaria, Farmacéutica, cosmetológicas, etc. de principios activos para el desarrollo de nuevos productos.

Aprovechando la gran importancia nutricional que contienen las hojas de remolacha que se cultiva en Tarija, con sus elevadas propiedades antioxidantes, se toma

en cuenta esta valiosa Hortaliza para la obtención de extracto de clorofila y a su vez darle un valor agregado y un buen aprovechamiento del mismo.

### ***1.8.1 Justificación Tecnológica***

Los resultados de este proyecto permitirán aportar información valiosa para posteriores estudios, para que sean sujetos a comparación entre la cantidad y calidad de la clorofila obtenida. Los resultados a obtenerse permitirán pasar de la Producción a nivel experimental en Laboratorio a la producción a escala piloto.

### ***1.8.2 Justificación Social***

Ante la necesidad que presenta la sociedad de reemplazar los productos químicos por productos orgánicos o naturales, es de importancia el estudio de la obtención de diferentes extractos vegetales para los aprovechamientos de las mismas y generar nuevas fuentes de ingresos.

Siendo Bolivia un país que basa gran parte su economía en la agricultura, el proyecto tendrá incidencia positiva en lo social y económico, al buscar fortalecer un renglón productivo de importancia estratégica para la producción agrícola boliviana, presentando otras aplicaciones y potenciales mercados para productos que se cultivan en el país como es el caso de las remolacha, aprovechando sus hojas para aportarles un mayor valor agregado y permitir ingresos económicos a los cultivadores de remolacha.

### ***1.8.3 Justificación Ambiental***

La utilización de las hojas desperdiciadas de algunos vegetales representa una oportunidad de reciclaje y de eliminación de grandes volúmenes de residuos que hoy en día no son aprovechados.

Plantear una solución al desecho de hojas de remolacha tanto en el mercado donde se realiza el estudio, así como en casi todos los establecimientos de producción de remolacha que no aprecian sus hojas como fuente rica en clorofila, aprovechando sus diversas características nutritivas para el ser humano.

### ***1.8.4 Justificación Económica***

Es importante tomar en cuenta que la producción de un extracto natural es rentable ya que la materia prima tiene un mal aprovechamiento por lo que podría potenciar un importante mercado y generar un progreso, avance e ingresos para las comunidades que directa o indirectamente se podrían beneficiar al industrializar dicho producto.

El mercado de los productos orgánicos, y en específico de los extractos naturales, de los antioxidantes, está en crecimiento ofreciendo oportunidades de exportación y progreso para los países en vía de desarrollo.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Antecedentes del estudio

Para el presente trabajo de investigación se basa en diferentes referencias consultadas con investigaciones similares a la propuesta en la presente tesis.

## 2.2 Caracterización de la Materia Prima: Remolacha Roja (*Beta vulgaris*)

### 2.2.1 Descripción botánica

La remolacha (*Beta vulgaris*) es la fruta más conocida y cultivada de la familia Chenopodiaceae. Es una fuente rica en nutrientes, incluyendo vitaminas (complejo B y C), minerales, fibra, proteínas y diversas sustancias fenólicas bioactivas, compuestas principalmente por betalaínas y otros componentes con actividad antioxidante, como cumarinas, carotenoides, sesquiterpenoides, triterpenos y flavonoides (astragalina, tilirosida, ramnocitrina, kaempferol, ramnetina) (Punia et al., 2022).

### Figura 2

*Remolacha Roja Beta Vulgaris L.*



Nota. Tomado de Freepik (2024).

La remolacha son plantas herbáceas anuales, bienales o perennes, alógamas con autocompatibilidad parcial. Raíz generalmente engrosada. Tallo ramificado y acostilado. Hojas basales en roseta, ovado-cordadas a rómbico-cuneadas y hojas caulinares rómbicas. Peciolos suculentos. Flores en panículas címosas, axilares o terminales, con más de 6 flores por cima. Se cultiva por su raíz sacarífera, forrajera o comestible o por sus hojas y peciolos comestibles o forrajeros. Se multiplica por semilla. Crece en regiones templadas y frías.

La pulpa es de sabor dulce y generalmente es de color rojo oscuro carmesí con tintes purpúreos. En ocasiones presenta círculos concéntricos de color blanco siendo ésta una característica indeseable. No obstante, algunas variedades de remolacha poseen la carne blanca o amarilla.

Existen tres variedades de remolacha de las cuales la remolacha común o roja es la que se consume como hortaliza. Las otras dos son la remolacha azucarera y la remolacha forrajera. La remolacha azucarera es de color blanquecino y se cultiva para obtener azúcar. La remolacha forrajera es utilizada fundamentalmente en la alimentación animal (Interempresas Media, 2025).

**Tabla 6***Taxonomía de la Remolacha*

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Phylum</b>	Telemophytae
<b>División</b>	Tracheophytae
<b>Subdivisión</b>	Anthophyta
<b>Clase</b>	Angiospermae
<b>Subclase</b>	Dicotyledoneae
<b>Orden</b>	Centrospermales
<b>Familia</b>	Chenopodiaceae
<b>Nombre científico</b>	<i>Beta vulgaris L. var: rapacea (Koch) Aellen.</i>
<b>Nombre común</b>	Remolacha

*Nota.* Tomado de Acosta (2020).

El cultivo de la remolacha está considerado como una hortaliza de raíz, aunque en realidad se trata de un "tallo engrosado bulboso", y constituye un órgano de almacenamiento, principalmente de azúcares y almidones. El cultivo de la remolacha en nuestro país es producido principalmente en los departamentos de Cochabamba, Santa Cruz y Tarija, tal producción es utilizada para la industrialización, como así también, para el consumo alimenticio del mercado y como medicina natural para la cura de algunas enfermedades por las propiedades curativas de la misma.

**Tabla 7***Composición química en 100 g remolacha roja*

<b>Agua</b>	87.5gr	<b>Vitamina A</b>	36mg
<b>Energía</b>	41Kcal	<b>Vitamina B1</b>	0.03 mg
<b>Grasa</b>	0.17gr	<b>Vitamina B2</b>	0.04 mg
<b>Proteínas</b>	1.35gr	<b>Niacina</b>	0.334mg
<b>Carbohidratos</b>	9.56gr	<b>Vitamina B6</b>	0.067 mg
<b>Fibra</b>	2.80gr	<b>Vitamina C</b>	4.90 mg
<b>Potasio</b>	325mg	<b>Vitamina E</b>	0.30 mg
<b>Sodio</b>	78mg	<b>Magnesio</b>	0.10mg
<b>Fosforo</b>	40mg	<b>Cobre</b>	0.20mg
<b>Calcio</b>	16mg	<b>Cobalto</b>	0.001mg
<b>Magnesio</b>	23mg	<b>Cloro</b>	0.40mg
<b>Hierro</b>	0.80 mg	<b>Flúor</b>	0.02mg
<b>Zinc</b>	0.35 mg	<b>Yodo</b>	40mg

*Nota.* Tomado de Hutzcho y Quiroz (2017).

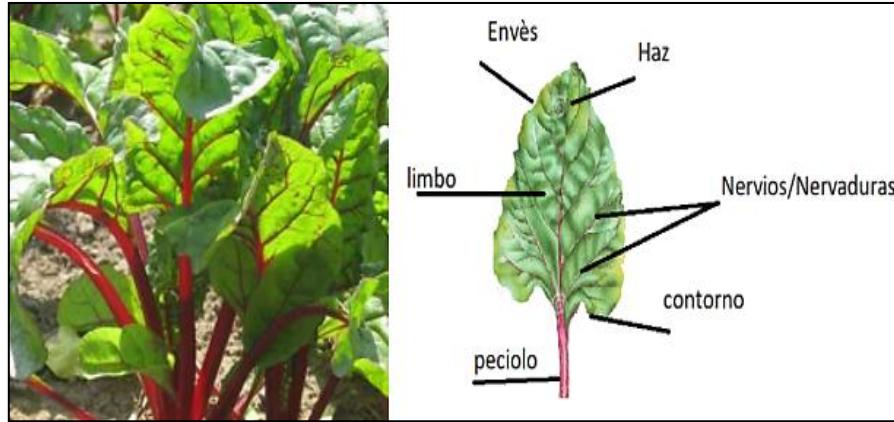
### **2.2.2 Hojas de remolacha**

Es una planta bianual con hojas jugosas, enteras rizadas, de coloración verde a menudo veteadas de rojo.

Las hojas tienen gran valor nutritivo, más que las raíces, también así son las que se emplean en la alimentación humana, como forrajes y para la extracción de azúcar según las características de las distintas variedades y especies.

**Figura 3**

*Hoja de remolacha (Beta vulgaris L.)*



*Nota.* Adaptado de Botanipedia (2024)

En nuestro país, de acuerdo a las costumbres y por desconocimiento, las hojas de remolacha no son consumidas por las personas, sino que son utilizadas como forraje para el ganado.

En los mercados callejeros, mercados interiores, y centros de distribución de frutas y vegetales, sus hojas son utilizados como fertilizante orgánico o se desechan en el medio ambiente como residuos. Las hojas de remolacha pueden ser consumidas y tienen un sabor semejante a la espinaca y estevia, ricas en pigmentos como ser clorofila, antocianinas, carotenos, y tienen un gran valor nutritivo, mayor que el de las raíces; que se emplean en la alimentación humana o forrajera (Giler, 2019).

**Tabla 8***Composición química en 100 g de hoja de remolacha*

<b>Agua</b>	88.4 g	<b>Magnesio</b>	72 mg
<b>Energía</b>	34 kcal	<b>Hierro</b>	2.80 mg
<b>Grasa</b>	0.5 g	<b>Zinc</b>	0.36 mg
<b>Proteínas</b>	3.40 g	<b>Folacina</b>	14.8 mg
<b>Carbohidratos</b>	5.90 g	<b>Vitamina A</b>	6.7 mg
<b>Fibra</b>	1.1-3.7 g	<b>Vitamina B1</b>	0.30 mg
<b>Potasio</b>	547 mg	<b>Vitamina B2</b>	0.15 mg
<b>Sodio</b>	201 mg	<b>Niacina</b>	0.93 mg
<b>Fosforo</b>	56 mg	<b>Vitamina B6</b>	0.11 mg
<b>Calcio</b>	139 mg	<b>Vitamina C</b>	23mg

*Nota.* Tomado de Hutzcho & Quiroz (2017).

De acuerdo a esta composición, las hojas de remolacha contienen una buena cantidad de nutrientes, es decir, tiene un valor nutritivo más elevado que el tubérculo. Tiene un valor proteico mayor, aunque el contenido de grasa es escaso. Presenta un valor bajo de calorías y carbohidratos, pero posee una buena fuente de fibra.

En cuanto a vitaminas, las hojas de remolacha contienen una buena cantidad de Vitamina A y C, lo que escasea en el tubérculo. Las vitaminas del complejo B también

tienen un valor un poco elevado que el anterior exceptuando la folacina que tiene un valor bajo. Por otro lado, presenta una fuente muy buena en potasio, calcio y hierro.

**Tabla 9**

*Concentración de clorofila total en hojas de diferentes especies vegetales*

Autor	Título	Planta vegetal	Concentración de clorofila (mg/g de muestra)
Ruiz S., Ruiz J, Hernández J, García R. y Valadez A., 2019 (Ruiz, Ruiz, Hernández, García, & Valadez, 2019)	Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco	Chaya	0.00922
		Chipilín	0.001272
		Perejil	0.00435
		Albahaca	0.00278
		Cilantro	0.0053
		Epazote	0.0062
		Cebollín	0.00155
		Oreganón	0.00124
		Momo	0.001132
		Hierba buena	0.00318
Heras C, 2006	Proceso de extracción de clorofila a partir de espinacas ( <i>Spinacia oleracea</i> )	Espinaca	32.56
Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la U.M.S.A	concentración de clorofila	Hojas de remolacha roja ( <i>Beta Vulgaris</i> )	4.02

### 2.3 Definición de colorante y pigmento

Los colorantes son definidos como sustancias que modifican el color percibido de los objetos. Con esta definición, los pigmentos y los colorantes se agrupan dentro del término colorantes. Se razona que, si solo se considera la solubilidad, la misma sustancia puede ser un tinte o un pigmento dependiendo de cómo se use (Cuesta, 2018).

Los colorantes hacen parte de reacciones químicas específicas y de acuerdo con su origen, se pueden clasificar en naturales, aquellos que son extraídos de plantas o animales, y artificiales, los que se extraen de minerales y son procesados en el laboratorio (Corrales & Caycedo, 2020).

Los pigmentos han sido utilizados desde tiempos prehistóricos, y han sido fundamentales en las artes visuales a lo largo de la Historia. Los principales pigmentos naturales utilizados son de origen mineral o biológico (Grupo Pochteca, 2023).

Muy importantes son los llamados pigmentos vegetales. Estos son el conjunto de sustancias que existen en las plantas y que dan forma a estructuras complejas. En concreto, entre los más conocidos están la clorofila, los antocianos, los flavonoides y el caroteno (Pérez & Merino, 2022).

Desde la antigüedad, la adición de colorantes naturales ha sido el objetivo principal para hacer que los productos sean atractivos. Por lo tanto, los colorantes no solo son la parte más impresionable de un producto sino también mejorar su atractivo para la aceptabilidad del consumidor (Cuesta, 2018).

### 2.3.1 *Clasificación de los colorantes*

Según Cuesta (2018), los colorantes se pueden clasificar de acuerdo a su origen:

- **Orgánicos:** o naturales: procedentes de plantas y animales, tales como la clorofila, carotenos, betalainas, flavonoides y antocianinas entre otros.
- **Minerales:** tales como lacas, sulfato de cobre y cromato de potasio entre otros; no se usan en alimentos porque llevan iones metálicos.
- **Artificiales:** obtenidos por síntesis química.

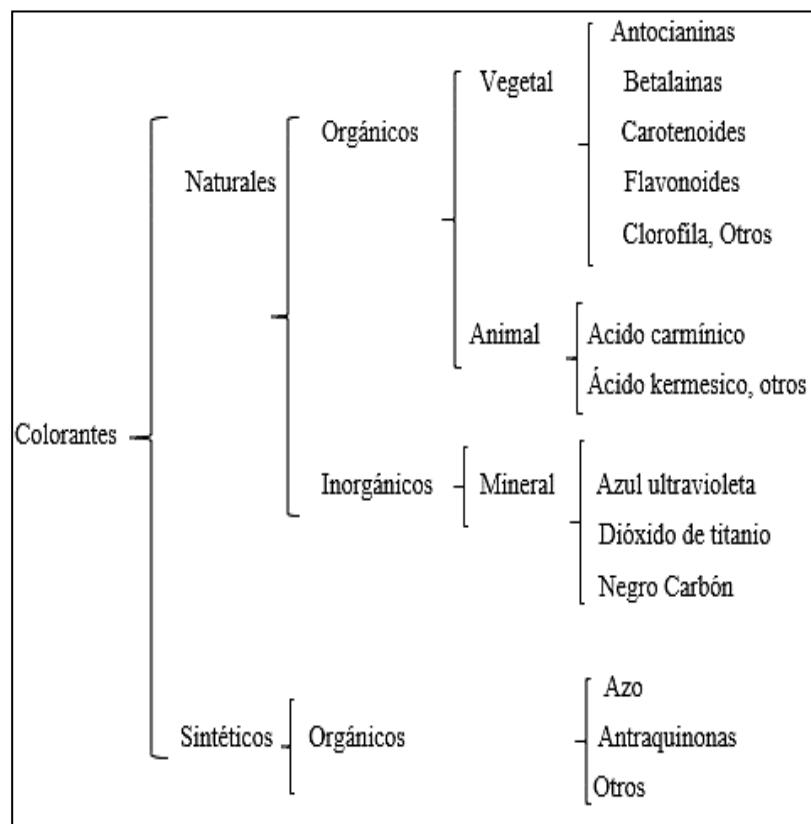
De acuerdo a su solubilidad son hidrosolubles y liposolubles.

Según Corrales y Caycedo (2020), la FDA creó tres categorías para clasificar a los colorantes:

1. Colorantes FD&C: Certificados para uso en alimentos, drogas y cosméticos en general.
2. Colorantes D&C: Tintes y pigmentos considerados seguros en drogas y cosméticos ingeridos o usados en contactos directos con membranas mucosas.
3. Colorantes Ext. D&C: Colorantes que por su toxicidad oral; no se usan en productos para ingestión, pero que son considerados seguros para uso externo.

Las regulaciones de la FDA distinguen dos tipos de aditivos colorantes (Cuesta, 2018).

- I. Colorantes “certificados” (Artificiales)
- II. Colorantes “no certificados” (naturales) (Mandujano, 2006).

**Figura 4***Clasificación de los colorantes**Nota.* Tomado de Cuesta (2018).

### 2.3.1.1 Toxicología de Colorantes

**Tabla 10**

*Toxicología de Colorantes*

Nombre	Origen	Código	Alimentos	Toxicidad
Antocianinas	Natural	E163	Productos cárnicos y lácteos	Ninguna
Betanina	Natural	E162	Pastelería	Ninguna
Carotenoides	Natural	E160	Productos cárnicos	Ninguna
Clorofila A y B	Natural	E140	Mostazas, caramelos	Nula
Amaranto	Artificial	E123	Caramelos y pastelería	Alta
Cochinilla	Natural	E120	Yogur, productos cárnicos	En estudio
Tartrazina	Artificial	E102	Productos de pastelería	Alta
Lactoflavina	Natural	E101	Mantequilla, quesos, leche	Ninguna
Curcumina	Natural	E100	Mantequilla, quesos, leche, té	Ninguna

*Nota.* Tomado de Cuesta (2018).

### 2.3.1.2 Colorantes de origen vegetal

Son aquellos que se obtienen de diversas partes de las plantas y hierbas, incluyendo el tallo, la madera, las raíces, la corteza, las hojas, las flores, los frutos y la piel de las plantas, que producen distintos tonos pálidos a oscuros en fibras tanto naturales como sintéticas (Grupo Pochteca, 2023).

Representan la mayoría de los colores derivados naturalmente de las plantas. La mayoría de los pigmentos naturales son muy sensibles al pH y muestran una degradación extrema cuando se exponen a un pH incompatible. Los colores también muestran variación de acuerdo con el nivel de pH. Muchos colorantes naturales, como

los carotenoides, los pigmentos que se encuentran en el jugo de remolacha y otros pigmentos que provienen de jugos de frutas y vegetales, son susceptibles al estrés térmico. Algunos pigmentos son sensibles a la presencia de la luz y se oxidan (Pino & Zamora, 2017).

**Tabla 11**

*Obtención y aplicación de colorantes naturales*

Nombre	Obtención	Aplicación
<b>Ácido Carmínico</b> <b>Carmín</b> <b>Cochinilla</b>	Hembras del insecto <i>Dactylopus coccus</i> , parásito de algunas especies de cactus.	Color rojo muy variable, utilizándose en conservas vegetales, mermeladas, helados, productos cárnicos y bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
<b>Curcumina</b>	Rizoma de cúrcuma	Color amarillo intenso (curry). Confituras, mermeladas, etc. Embutidos picados
<b>Caramelo</b>	Calentamiento de azúcar (Sacarosa y otros)	Productos de botillería, repostería y helados. Bebidas de cola y alcohólicas (ron, coñac, etc.)
<b>Clorofilas</b>	Algas	Color verde característico aplicado a chicle, helados y bebidas refrescantes.
<b>Carotenoides</b>	Capsatina: Pimiento rojo y del pimentón licopeno; tomate.	Fábrica de embutidos, bebidas refrescantes.
<b>Betalaína</b>	Remolacha roja ( <i>Beta Vulgaris</i> )	Producto de repostería dirigido al público infantil, bebidas refrescantes, conservas y mermeladas conservas de pescado.

*Nota.* Adaptado de Cuesta (2018).

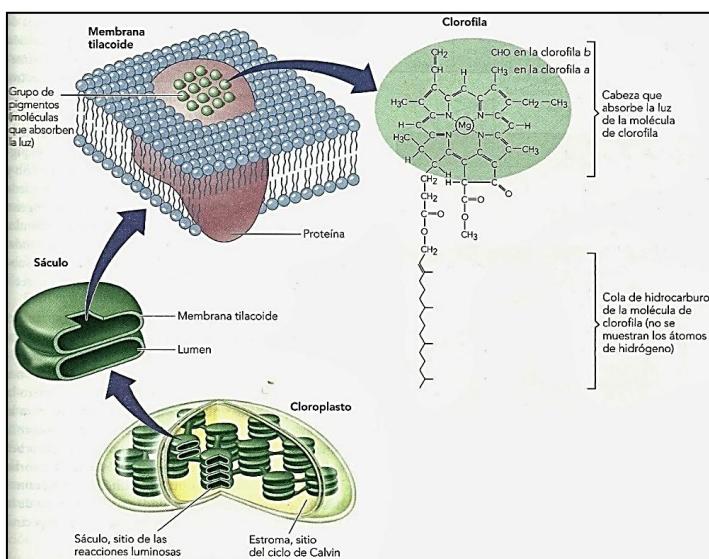
## 2.4 Clorofila

Las clorofillas (*cloros* = verde y *phyllon* = hoja en griego) (E140) son pigmentos naturales de origen vegetal. (Muthusamy & Muthuraman, 2018)

Son una familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos o membranas tilocoidales en sus células, lo que incluye a las plantas y a las diversas algas. La clorofila es una biomolécula sumamente indispensable, crítica en la fotosíntesis que es un proceso que permite a las plantas y algas almacenar energía a partir de la luz solar (Benjamin, 2019).

**Figura 5**

*Estructura y localización de la clorofila*



*Nota.* Tomado de Angulo et al. (2009).

Las clorofilas son los pigmentos naturales más abundantes presentes en las plantas y se encuentran en los cloroplastos de las hojas y en otros tejidos vegetales. Las diferencias aparentes en el color del vegetal son debidas a la presencia y distribución variable de otros pigmentos asociados, como los carotenoides, los cuales siempre acompañan a las clorofilas (Ruiz et al., 2019).

Los cloroplastos son los orgánulos celulares que se encargan de realizar la fotosíntesis. Están limitados por una envoltura formada por las dos membranas concéntricas y contienen muchas vesículas, los tilacoides, donde se encuentran organizados los pigmentos y demás moléculas que convierten la energía lumínica en energía química, como la clorofila (Farbe Naturals, 2020).

#### ***2.4.1 Estructura química de la molécula de clorofila***

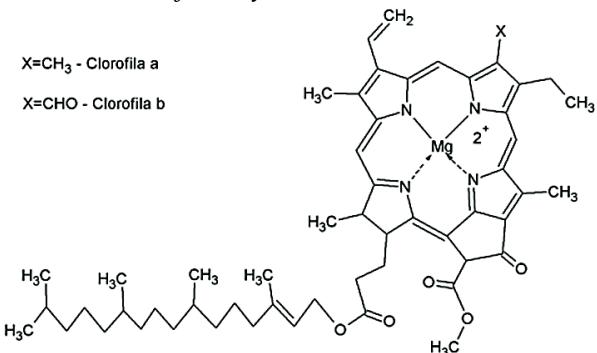
Las clorofilas son los responsables de la fotosíntesis, se localizan y sintetizan de manera natural en los cloroplastos de la célula, y su estructura principal se basa en átomos de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno (Wikimedia Foundation, 2020).

La estructura de las moléculas de clorofila tiene dos partes: un anillo de porfirina que contiene magnesio y cuya función es absorber luz, y una cadena hidrófoba de fitol cuya función es mantener la clorofila integrada en la membrana fotosintética, quien otorga el carácter hidrofóbico a la molécula de clorofila (Wikimedia Foundation, 2020).

## Figura

6

## *Estructura química de la clorofila a y b*



*Nota.* Tomado de PASSeL (2024).

En la Tabla se describe los componentes de la molécula de clorofila.

Tabla 12

## *Componentes de la Clorofila*

Grupo	Descripción
Pirrol	Uno de los cuatro anillos componentes del núcleo
Porfina	Esqueleto de 4 pirroles unidos por un puente de metilo
Porfirina	Los cuatro anillos con puentes de metilo y sustituidos por metilo, etilo o vinilo
Clorinas	Porfirinas deshidratadas
Forbina	Porfirina con adición de anillo C9-C10.
Forbido	La posición 7 está esterificada con fitol y no contiene $Mg^{+2}$
Fitol	Alcohol isoprenoide de 20 átomos de carbono
Clorofila a	En posición 3 hay un metilo
Clorofila b	En posición 3 hay un formilo
Feofitinas	Clorofilas sin Mg
Clorofilidas	Clorofilas sin fitol
Feoforbido	Clorofilas sin fitol ni Mg <sup>+2</sup>

Nota. Tomado de Alvarez (2011).

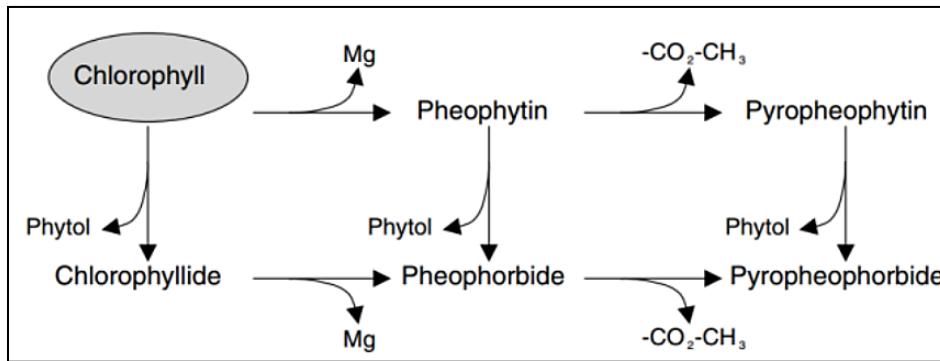
#### **2.4.1.1 Tipos de clorofila**

Existen diversos tipos de clorofillas, en plantas superiores son predominantes las del tipo a y b, mientras que en algas y bacterias también se pueden encontrar del tipo c, d y e, diferenciándose cada una a nivel molecular. La clorofila a ( $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ ) es la estructura más abundante e importante de la familia, y corresponde aproximadamente al 75% de los pigmentos verdes encontrados en la naturaleza (Wikimedia Foundation, 2020).

La diferencia entre la clorofila “a” y la “b” se centra en el grupo de carbono tres (C3); metilo (-CH-3) para clorofila “a” y aldehído (-CHO) para clorofila “b” (Ascención, 2018).

#### **2.4.2 *Degradación de las clorofillas***

La retención del color verde brillante de frutas o verduras durante el procesamiento térmico ha sido una gran preocupación de los procesadores y de importancia económica para la comida a nivel industrial, porque es bien conocido que las preferencias del consumidor se desplazan hacia productos más frescos (Ruiz et al., 2019).

**Figura***Degradación de la Clorofila*

Nota. Tomado de Benjamin (2019).

El color verde en estos materiales vegetales es producido por la clorofila y se han utilizado como un indicador de salud y madurez. Sin embargo, después de la cosecha, las clorofillas se degradan con una tasa que depende del material vegetal y las condiciones de procesamiento. La degradación de la clorofila puede ocurrir en pocas horas o durante varias semanas (Ascención, 2018).

En el tejido vegetal, la clorofila se libera de su complejo de proteínas seguido de la eliminación de fitina y posiblemente feofilización. Este proceso degradativo es también observado en los alimentos por efecto del procesamiento y el tipo de producto depende de la severidad del tratamiento (Benjamin, 2019).

La degradación procede por oxidación de la estructura de anillo a clorinas y finalmente por formación de productos finales incoloros. Además, se ha informado una pérdida de clorofila en guisantes congelados asociados con la actividad de lipoxigenasa y peroxidación de grasa (Wikimedia Foundation, 2020).

#### **2.4.2.1 Factores que afectan la estabilidad de la clorofila**

Las clorofilas poseen alta labilidad, son sensibles a la luz, pH, oxígeno, calor, y a enzimas como clorofilasa, que provocan distintos cambios estructurales y, en consecuencia, la degradación de la clorofila. La clorofila b es térmicamente más estable que la clorofila a, debido a que su grupo aldehído en la molécula, es capaz de captar electrones. La exposición a pH ácido, da lugar a la formación de las feofitinas de color verde oliva-amarillo, debido al reemplazo de su átomo de Mg en la molécula (Farbe Naturals, 2020).

#### **2.4.2.2 Efecto del pH sobre la degradación de la clorofila**

Varios investigadores han demostrado una mayor estabilidad de las clorofilas en condiciones de pH alcalino.

Gunawan y Barringer, investigaron el efecto del pH (3-8) y el crecimiento microbiano sobre la degradación del color verde del brócoli durante el almacenamiento. La degradación del color se aceleró cuando el brócoli se sumergió en tampón de McIlvaine a un pH ácido, en la cual se descubrió que los ácidos que contienen un anillo de benceno causan un cambio de color más rápido que los ácidos con cadenas simples debido a su hidrofobicidad (Gaur et al., 2006).

#### **2.4.2.3 Papel de las enzimas en la degradación de la clorofila**

La degradación enzimática de la clorofila en tejidos de plantas senescentes ha sido ampliamente estudiada. Revisiones recientes describen el papel de la clorofilasa en la degradación de la clorofila.

La clorofilasa (clorofila clorofilido-hidrolasa,) cataliza el primer paso en el catabolismo de la clorofila y elimina la cadena de fitol del anillo de porfirina para formar clorofilida. La lipoxigenasa se distribuye ampliamente en las verduras y participa en el desarrollo de sabores desagradables y la pérdida de color, se debe a la formación de hidroperóxido y radicales por oxidación de lípidos, que pueden destruir la clorofila y los carotenoides durante el almacenamiento de congelación. Las peroxidases desempeñan un papel importante en la degradación de la clorofila, un proceso que acompaña a la maduración y la senescencia en la mayoría de las frutas y verduras (Gaur et al., 2006).

En la degradación de la clorofila mediada por la peroxidasa, la peroxidasa oxida los compuestos fenólicos con peróxido de hidrógeno y forma el radical fenoxy. Luego, el radical fenoxy oxida la clorofila a compuestos incoloros de bajo peso molecular mediante la formación de C-13-hidroxiclorofila a y un compuesto similar a la bilirrubina como intermedio (Gaur et al., 2006).

#### **2.4.2.4 Influencia de la luz en la degradación de la clorofila**

La sensibilidad de muchos alimentos a la luz se debe a su contenido de pigmento, que es estimulado por cuantos, de la región espectral visible, que actúan como fotosensibilizadores. La energía se transfiere directamente de los fotosensibilizadores a los componentes de los alimentos o al oxígeno. Este último se convierte en la forma singlete reactiva e induce la oxidación (Ascención, 2018).

Se demostró que los cuantos absorbidos por el máximo de absorción de clorofila en los 650 nm son más eficaces en la fotooxidación. Este estudio sugirió que al seleccionar envases para alimentos que contienen clorofila, los rangos espectrales críticos

alrededor de 400 nm (amarillo-verde) y 650 nm (azul-verde) necesitan una consideración especial. Los alimentos irradiados principalmente por luz fluorescente necesitan más protección en el rango de longitud de onda más bajo, y los alimentos irradiados por luz natural en el rango de longitud de onda más largo (Gaur et al., 2006).

#### ***2.4.3 Aplicaciones y usos de la clorofila***

La clorofila tiene un auge en las aplicaciones sobre todo como un producto naturista que tiene las siguientes aplicaciones:

- Ayuda a cada sistema de nuestro cuerpo, proporcionándole soporte y refuerzo para mejorar su actividad.
- Sistema Digestivo: Ayuda a la buena digestión por su gran aporte de enzimas y evita el mal aliento.
- Sistema Intestinal: Desodoriza las heces fecales, ayuda a la producción de las bacterias clónicas benéficas y cicatrización para pequeñas ulceraciones.
- Sistema Circulatorio: Incrementa la producción de glóbulos rojos, ayuda a eliminar grasas en la sangre y baja los riesgos circulatorios por su acción antioxidante.
- Sistema Nervioso: Es un relajante para el sistema nervioso por su contenido de Complejo B.
- Sistema Inmunológico: Incrementa la producción de células de defensa y ayuda a la eliminación de tóxicos en la sangre. Apoyo en el tratamiento de cáncer.
- Sistema Respiratorio: Es un agente indispensable para la buena oxigenación de nuestro cuerpo.
- Sistema Urinario: Los riñones trabajan eficazmente eliminando el exceso de líquidos, toxinas del cuerpo, mejorando la diuresis.
- Sistema Glandular: Estimula la producción de hormonas por su acción estrogénica.

- Desintoxica el hígado y páncreas, mejorando su funcionamiento.
- Sistema Estructural: Equilibra los niveles de calcio en el cuerpo, evitando la osteoporosis. Rejuvenece la piel.

**Tabla 13***Usos de la clorofila en diferentes industrias*

Industria	Uso
<b>Alimentaria</b>	<p>La <b>Clorofila</b> es un ingrediente utilizado en la industria de alimentos como agente de color y sabor, principalmente. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pastillas y dulces tipo gomita</li> <li>• Galletas dulces</li> <li>• Caramelos hervidos</li> <li>• Gomas de mascar</li> <li>• Productos lácteos congelados</li> <li>• preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.</li> </ul>
<b>Farmacéutica</b>	Se usan en cremas dentales de higiene personal (colutorios y dentífricos).
<b>Cosméticos</b>	Esta industria emplea colorante natural para dar color verde a todo tipo de cosmética casera, bombas de baño, geles de baño, jabones, maquillaje.

*Nota.* Tomado de Farbe Naturals (2020).

## 2.5 Métodos de Extracción de Clorofila

### 2.5.1 Extracción por Maceración

Esta extracción es sencilla. Se somete a la disolución del soluto en un solvente, dejando reposar hasta que el solvente penetre la estructura celular, ablaide y disuelva las porciones solubles, controlando la temperatura y el tiempo del proceso. Martin *et al.*, 1965, recomienda que la maceración se realice a una temperatura de 15 a 20° C. Si el tiempo de maceración es muy prolongado debe usarse conservadores para evitar

alteraciones microbianas (Ruiz et al., 2019). La ventaja de esta extracción es producir un extracto con una concentración uniforme, sin embargo, resulta laboriosa, y para conseguir mejores rendimientos se requiere de mayor tiempo de extracción (Ascención, 2018). En esta etapa se evalúa lo siguiente:

- ✓ Influencia del tiempo de maceración.
- ✓ Influencia de la relación materia prima/solvente de extracción.
- ✓ Influencia del pH.
- ✓ Influencia de la concentración del ácido.
- ✓ Influencia de la temperatura de maceración.

### ***2.5.2 Extracción por Lixiviación***

La lixiviación es la extracción en la que una mezcla o una fase sólida se descomponen en sus componentes o en la que un componente valioso se quita y recupera de una masa sólida mediante el tratamiento por un líquido.

En general las operaciones que comprenden el tratamiento de sólidos por disolventes incluyen cierto número de circunstancias distintas. El sólido suele consistir de una mezcla heterogénea de varios constituyentes, uno o más de los cuales pueden ser líquidos o sólidos en disolución, pero puede ser una mezcla homogénea tal como una solución sólida o una sal doble. Los sólidos que se lixivian se hallan en una diversidad de formas físicas, y a menudo se requiere su desintegración para formar una gran superficie de contacto con el disolvente.

Posiblemente, la clase más importante de las operaciones de lixiviación es la eliminación del componente soluble del interior del sólido inerte efectuado por un proceso lento de difusión a través de una membrana vegetal o animal. Son ejemplos, la

recuperación del disolvente de aceites de semillas, nueces y sustancias vegetales semejantes; los extractos medicinales; la extracción de taninos, trementina y colofonia a partir de la madera mediante el proceso por disolventes; de la clorofila a partir de la alfalfa; y la extracción del azúcar de remolacha por lixiviación con agua. Las fuerzas físicas que tienen efecto importante en la lixiviación son: gravedad, viscosidad, adherencia, fricción, ósmosis, capilaridad y solución (Pullido, 2008).

Para mejorar la extracción por lixiviación se puede usar un equipo de agitación mecánica o un calentador.

En este método de extracción se evalúa los siguientes parámetros:

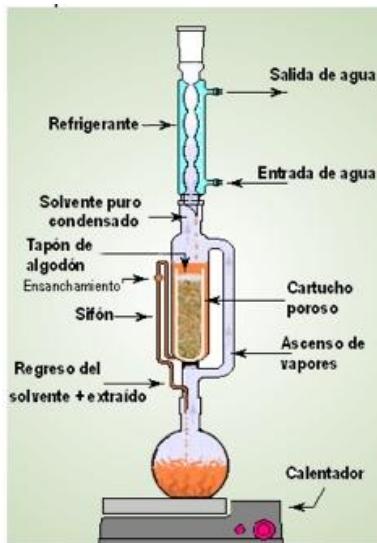
- ✓ Tiempo de extracción
- ✓ Temperatura de extracción
- ✓ Velocidad de agitación

### **2.5.3 *Extracción con Equipo Soxhlet***

El equipo Soxhlet de vidrio, consta de tres partes: matraz, corneta, condensador. El funcionamiento es el siguiente: En el matraz se dispone el disolvente, en contacto con una manta calefactora; en la corneta es donde se deposita un cartucho de papel filtro o tela que contiene un peso dado de materia colorante; en el condensador es donde se condensa el disolvente que por efecto de la gravedad cae en la corneta embebiendo el material vegetal. Este método se emplea a bajas temperaturas para no degradar las moléculas (Analytics, 2012).

**Figura 8**

**Equipo Soxhlet**



*Nota.* Tomado de Analytics (2012).

La extracción con Soxhlet presenta las siguientes ventajas:

- ✓ La metodología empleada es muy simple.
- ✓ Es un método que no depende de la matriz.
- ✓ Se obtienen excelentes recuperaciones.

Por otra parte, las desventajas más significativas de este método de extracción son:

- ✓ El tiempo requerido para la extracción normalmente esté entre 6-24 horas.
- ✓ La cantidad de disolvente orgánico (50-300 ml)
- ✓ La descomposición térmica de los analitos termolábiles, ya que la temperatura del disolvente orgánico esté próxima a su punto de ebullición.
- ✓ No es posible la agitación del sistema, la cual podría acelerar el proceso de extracción.
- ✓ Es necesaria una etapa final de evaporación del disolvente para la concentración de los analitos.

- ✓ Esta técnica no es fácilmente automatizable.

#### **2.5.4 *Extracción por Cocciones***

Los cocimientos son preparados líquidos que se confeccionan hirviendo con agua las sustancias vegetales (Martin et al., 1965). La muestra se coloca en un recipiente de vidrio, se agrega el solvente y se somete a ebullición por diferentes tiempos. La temperatura de extracción debe ser tal que no afecte a la estructura del colorante (Ruiz et al., 2019). En este método de extracción se evalúa:

- Influencia del número de etapas de extracción.
- Influencia del tiempo de cocimiento
- Temperatura de calentamiento en la extracción.

#### **2.6 Descripción de solventes para la extracción de la Clorofila**

Debe seleccionarse un solvente conveniente de tal forma que ofrezca el mejor balance de varias características deseables:

- ✓ Alto límite de saturación y selectividad respecto al soluto por extraer.
- ✓ Capacidad para producir el material extraído con una calidad no alterada por el disolvente.
- ✓ Estabilidad química en las condiciones del proceso
- ✓ Baja viscosidad.
- ✓ Baja presión de vapor.
- ✓ Baja toxicidad e inflamabilidad.
- ✓ Baja densidad.

- ✓ Baja tensión superficial.
- ✓ Fácil de recuperar.

El solvente más ampliamente utilizado para extraer extractos vegetales de las plantas es el etanol (Huincho & Quiroz, 2017).

### **2.6.1 *Alcohol etílico o Etanol***

El alcohol etílico o etanol, es un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78°C y punto de fusión de -114,1 °C. Es altamente inflamable, soluble en agua en cualquier proporción, reacciona violentamente con oxidantes fuertes y lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco.

El etanol es el representante más conocido de los alcoholes. En esta molécula, el grupo hidroxilo está en un carbono terminal, dando como resultado una alta polarización de la molécula. En consecuencia, el etanol puede formar fuertes interacciones, como los enlaces de hidrógeno y la interacción dipolo-dipolo. En agua, el etanol es miscible y las interacciones entre los dos líquidos son tan altas, que dan lugar a una mezcla conocida como azeotropo, con características diferentes a los dos componentes (Farbe Naturals, 2020).

### **2.6.2 *Metanol***

Es un líquido incoloro de olor característico, soluble en acetona, esteres. Arde con llama débilmente luminosa y es miscible en agua en todas las proporciones. Se usa como solvente industria para la fabricación de formol, acetato de metilo y plastificantes, también se utiliza como aditivo para la gasolina. En la industria en general se usa como solvente en la fabricación de lacas, películas, plásticos, jabones,

textiles, cuero artificial. En la preparación de removedores de pinturas, barniz, para soluciones anticongelantes.

### ***2.6.3 Acetona***

Es un líquido aromático, incoloro, inflamable, es la cetona más sencilla e importante como disolvente y medio de extracción. Se emplea principalmente como disolvente en la fabricación de acetato de celulosa, pinturas, lacas y adhesivos, colorantes de la serie de la difenilamina, isopreno, piel artificial, mezclas adhesivas de nitrocelulosa, lubricantes, perfumes, productos farmacéuticos, plásticos, cementos ahulados, extracción de grasas y aceites, tónicos, purificación de parafina, etc (Grupo Pochteca, 2023).

### ***2.6.4 Hexano***

El hexano es utilizado como disolvente para algunas pinturas y procesos químicos, para quitar etiquetas, ya que disuelve el pegamento con que se adhieren. También fue muy utilizado en la industria del calzado y la marroquinería, aunque su uso en industrias controladas está más restringido. También se usa para disolver las pepitas de la uva y extraer aceite de orujo. De igual manera es empleado en análisis de laboratorios siendo un solvente eficaz para la obtención de Hidrocarburos Fracción pesada en suelo y agua. Este compuesto reacciona con algunas aminas esenciales para el funcionamiento de las células nerviosas. Por lo tanto, es neurotóxico. Además, posee un potencial adictivo y peligroso.

## 2.7 Métodos de Cuantificación de Clorofila

Para su extracción y cuantificación se suelen utilizar tres métodos: espectrofotométrico, fluorométrico y por cromatografía líquida (*High-performance liquid chromatographic*) aunque en nuestro caso vamos a utilizar la espectrofotometría UV-visible. El motivo de emplear el sistema UV-Vis es que nos permite agilizar el proceso de análisis y tiene una elevada eficacia en su medición.

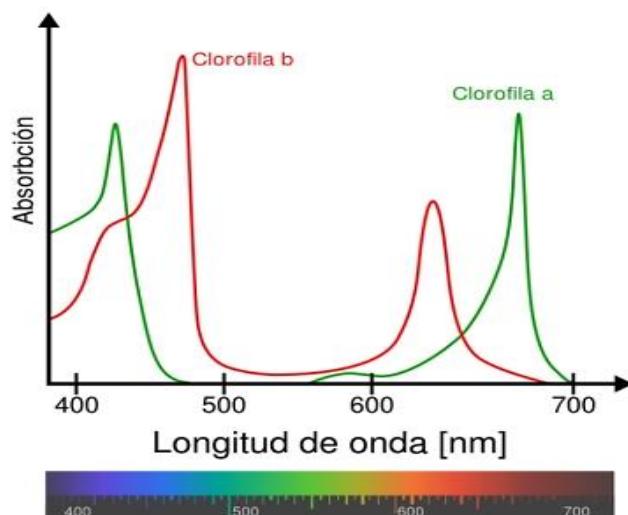
Se trata de una técnica analítica que nos permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Su metodología se centra en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para llevarlo a cabo, hacemos uso de un espectrofotómetro, en el cual podemos seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución extractora y así medimos la cantidad de luz absorbida por ésta.

### 2.7.1 Espectrofotometría *UV-Vis*

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma. Para llevarlo a cabo, hacemos uso de un espectrofotómetro, en el cual podemos seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución extractora y así medimos la cantidad de luz absorbida por esta (Ascención, 2018).

**Figura 9**

*Absorción de la clorofila en el espectro visible*



*Nota.* Tomado de Fisiología Vegetal (2020).

En la Figura 2-8 se observa que las clorofillas tienen típicamente dos rangos de absorción en el espectro visible:

En la zona de la luz azul (400-500 nm)

- En la zona roja del espectro (600-700 nm)
- Las clorofillas reflejan la parte media de color verde (500-600 nm)

#### 2.7.1.1 Componentes de un espectrofotómetro

Consta de los siguientes componentes:

- **Fuente de luz**

La fuente de luz que ilumina la muestra debe cumplir con las siguientes condiciones:

estabilidad, direccionalidad, distribución de energíapectral continua y larga vida.

Las fuentes empleadas son: lámpara de wolframio (también llamado tungsteno), lámpara de arco de xenón y lámpara de deuterio que es utilizada en los laboratorios atómicos.

- **Monocromador**

El monocromador aísla las radiaciones de longitud de onda deseada que inciden o se reflejan desde el conjunto, se usa para obtener luz monocromática. Está constituido por las rendijas de entrada y salida, colimadores y el elemento de dispersión. El colimador se ubica entre la rendija de entrada y salida. Es un lente que lleva el haz de luz que entra con una determinada longitud de onda hacia un prisma el cual separa todas las longitudes de onda de ese haz y la longitud deseada se dirige hacia otra lente que direcciona ese haz hacia la rendija de salida.

- **Compartimiento de muestra**

El compartimiento de muestra es donde tiene lugar la interacción con la materia (debe producirse donde no haya absorción ni dispersión de las longitudes de onda). Es importante destacar, que, durante este proceso, se aplica la ley de Lambert-Beer en su máxima expresión, en base a sus leyes de absorción, en lo que concierne al paso de la molécula de fundamental-excitado.

- **Detector**

El detector detecta la radiación y a su vez lo dejan en evidencia para posterior estudio.

Existen dos tipos:

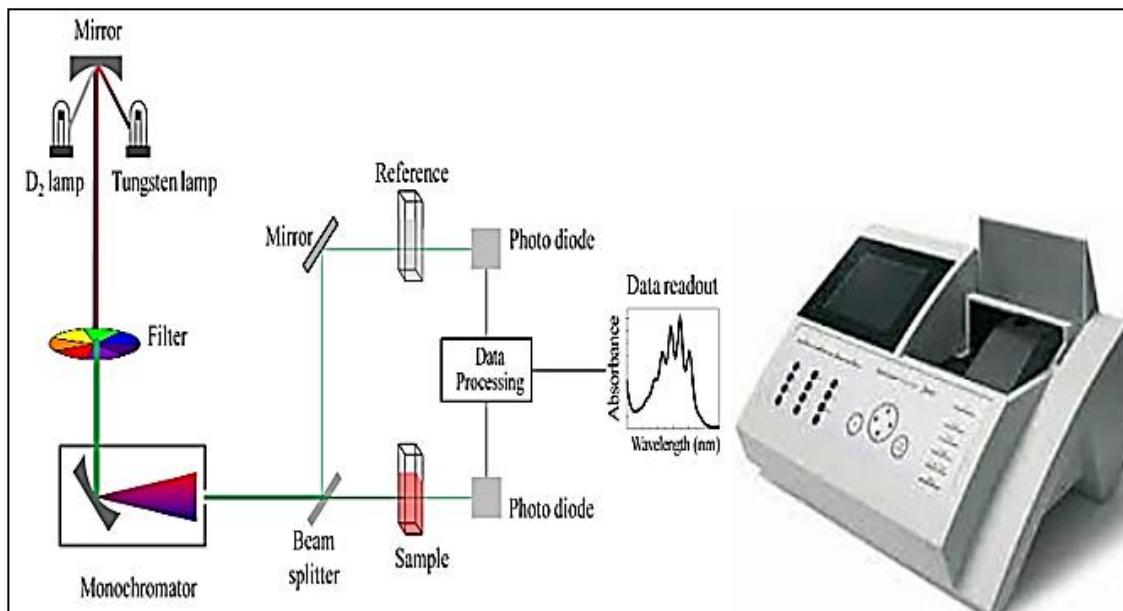
- a) Los que responden a fotones.
- b) Los que responden al calor.

- **Fotodetectores**

En los instrumentos modernos se encuentra una serie de 16 fotodetectores para percibir la señal en forma simultánea en 16 longitudes de onda, cubriendo el espectro\_visible. Esto reduce el tiempo de medida, y minimiza las partes móviles del equipo.

- **Celdas**

Son recipientes donde se depositan las muestras líquidas a analizar. El material del cual están hechas varía de acuerdo a la región que se esté trabajando, estos pueden ser de vidrio o plástico si se trabaja en la región visible, de cuarzo si se trabaja en la región ultravioleta. Se caracterizan por tener dos paredes correspondientes a los lados ópticos por donde cruza el haz de luz.

**Figura 10***Esquema del Espectrofotómetro UV-Visible*

Nota. Toma de Soderberg (2018).

El método consiste en la determinación espectrofotométrica de clorofila mediante el método AOAC 942.04 por medición instrumental de la intensidad de color.

## 2.8 Factores a tener en cuenta a la hora de procesar las muestras

Es importante saber que la concentración de clorofillas presentes en una muestra vegetal puede variar ampliamente, dependiendo del metabolismo de la planta y de otros factores fisicoquímicos como son la luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de ciertos ácidos, el fotoperiodo o el nitrógeno presente en la planta.

Además, hay que tener en cuenta que, aunque haya hojas que a simple vista se ven más intensas, no quiere decir que tengan un mayor contenido de clorofillas ya que

pueden tener otros pigmentos diferentes como las antocianinas o carotenoides que se juntan a las clorofillas para ayudarles en el proceso de absorción de la luz solar.

El principal parámetro que nos permite determinar la concentración de clorofillas es el nivel nutricional en el que se encuentra la planta. También puede ayudarnos a comprender el estado fisiológico de una planta, los niveles de nitrógeno, fósforo y boro presentes en la hoja (exceso o deficiencia) como un síntoma de algún tipo de estrés, etc.

En la actualidad estamos inmersos en la captación de datos para establecer procesos de análisis que nos permitan buscar correlaciones entre niveles nutricionales, factores químicos de las plantas y estado de desarrollo de la fisiología vegetal.

### ***2.8.1 Inhibición Enzimática***

Es un proceso reversible, consiste en eliminar el agua de la droga hasta valores inferiores al 10%. Al disminuir la cantidad de agua las enzimas detienen su actividad, quedando inhibidas, por lo que se puede conservar la droga vegetal.

### 2.8.1.1 Procedimientos para eliminar el agua

#### Desecación

La desecación puede realizarse de manera lenta cuando es necesario estimular la acción enzimática, o puede ser rápida cuando se quiere evitar la misma. El proceso de desecación lo podemos dividir en:

**Desecación natural:** es un proceso lento, económico. Se pueden emplear cobertizos, bandejas, telas metálicas galvanizadas, papeles extendidos sobre un armazón de madera, etc.

**Desecación artificial:** permite un control de la temperatura, de la humedad y del tiempo que tarda el proceso. Es generalmente el más adecuado, de corta duración, útil en donde la humedad es muy elevada. Para la desecación artificial se puede utilizar: túneles de secado, torres de secado, estufa al vacío, etc. “La desecación artificial contribuye a que las flores y hojas conserven su color y las drogas aromáticas su aroma, pero la temperatura empleada en cada caso ha de ajustarse en función de los componentes y la naturaleza física de la droga. Como regla general, las hojas, sumidades y flores deben secarse entre 20 y 40 ° C y las cortezas y raíces de 30 a 65 ° C” (Calvo, 2020).

Con la desecación artificial se debe tener siempre presente determinar el punto exacto de desecación; debido a que si las drogas delicadas se desecan en exceso se tornan quebradizas, tendiendo a romperse durante el transporte.

### **2.8.2 *Inactivación Enzimática***

Este proceso de conservación es irreversible y consiste en la destrucción de las enzimas; con lo que se consigue que la planta no se degrade. A continuación, se enumeran varios métodos para la inactivación enzimática:

- ✓ Con alcoholes a ebullición.
- ✓ Con vapores líquidos (vapor de agua, vapores alcohólicos).
- ✓ Con calor seco.

### **2.8.3 *Almacenamiento***

Para el almacenamiento de las drogas vegetales se necesita de lugares frescos y secos. “Las drogas almacenadas en envases usuales (sacos, cajones de madera, cajas de cartón y bolsas de papel) absorben aproximadamente de 10 a 12% de humedad” (Evans. William, 1991). Se debe tomar en cuenta tanto la humedad propia de la droga y la humedad ambiental. Para controlar este problema se recomienda colocar las drogas en envases herméticos con un agente deshidratante. El tiempo almacenamiento es variable dependiendo de la parte de la planta. Las drogas deben ser perfectamente rotuladas para su fácil identificación (Carrión & García, 2010).

## **2.9 Conservación y almacenamiento de extractos**

- Para tiempo prolongado de conserva de 1 año en adelante, es aconsejable una temperatura de -18°C.
- Para el uso del extracto en 2 días posteriores a su obtención, es aconsejable 4°C.

En todos los casos, el extracto debe encontrarse en botellas de vidrio ámbar herméticamente cerradas, para evitar la degradación por presencia de luz y oxígeno.

Así mismo también se necesita de lugares frescos y secos. Con la finalidad de *conservar* los principios activos el *extracto* fluido obtenido Ruiz et al. (2019).

## **2.10 Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha**

Para seleccionar el método de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha se toma en cuenta los diversos métodos mencionados en el capítulo anterior. Las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el método más óptimo (con mayor puntaje), se fijan de acuerdo a la escala de Likert (La escala de likert es un método de investigación que utiliza una escala de calificación para conocer el nivel de acuerdo y desacuerdo **de las personas sobre un tema**. Creada en 1932 por el psicólogo americano Rensis Likert, la escala pretende no limitar las respuestas a “sí” o “no”) (Gómez & Duque, 2018).

**Tabla 14***Escala de calificación de Likert*

Escala de puntuación	puntuación
Excelente	5
Muy buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

Los métodos más conocidos en nuestro medio y que pueden ser aplicados a la Extracción de extractos naturales son:

- ✓ Extracción con Equipo Soxhlet.
- ✓ Extracción por maceración.
- ✓ Extracción por cocciones.

Para facilitar la elección del método de trabajo, se realiza una matriz de elección:

En la Tabla se observa los factores a evaluar y porcentaje de evaluación para la elección del proceso tecnológico.

**Tabla 15**

*Factores a evaluar y porcentaje de evaluación para la selección de proceso tecnológico obtención de clorofila a partir de hojas de remolacha roja(Beta Vulgaris L.)*

Factor a evaluar	Detalle	Porcentaje de evaluación
Aplicabilidad del método	<p>La extracción se la pretende hacer de las hojas de remolacha roja se busca un método que sea acorde a este requerimiento, la extracción por Maceración se emplea para muestras rígidas (tallos, raíces), su proceso es lento, la extracción es incompleta de la muestra.</p> <p>La extracción con Soxhlet presenta buena eficacia utilizada en pequeñas escalas.</p> <p>El método de extracción de clorofila por cocciones requiere de condiciones de temperaturas demasiado altas.</p>	20%
Disponibilidad de equipamiento	<p>Este es uno de los factores principales, ya que para llevar a cabo el proyecto se requiere del equipo adecuado y que esté al alcance.</p>	20%

Factor a evaluar	Detalle	Porcentaje de evaluación
Rendimiento del método	De acuerdo a bibliografía se puede definir porque método es mejor el rendimiento de la extracción.	20%
Impacto ambiental	Se desea que el proyecto a llevarse a cabo no sea contaminante o sea tóxico para el medio	15 %
Costo	Se debe tener en cuenta que para la extracción se requiere de un presupuesto económico el cual no debe ser muy elevado	15 %
Tiempo de extracción	Al consistir la extracción Soxhlet en un sinfín de extracciones de manera automática, requiere un menor tiempo de extracción que otros métodos.	10%
<b>TOTAL</b>		<b>100%</b>

**Tabla 16***Matriz de decisión para selección del proceso*

FACTORES A EVALUAR	PORCENTAJE DE EVALUACIÓN	EXTRACCIÓN POR MACERACIÓN			EXTRACCIÓN CON EQUIPO SOXHLET			EXTRACCIÓN POR COCCIONES		
		Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%
Aplicabilidad del método	20%	4	0.8	16	5	1	20	2	0.4	8
Disponibilidad de equipamiento	20%	4	0.8	16	5	1	20	4	0.8	16
Rendimiento del método	20%	5	1	20	4	0.8	16	2	0.4	8
Impacto ambiental	15%	3	0.6	9	5	1	15	3	0.6	9

FACTORES A EVALUAR	PORCENTAJE DE EVALUACIÓN	EXTRACCIÓN POR MACERACIÓN			EXTRACCIÓN CON EQUIPO SOXHLET			EXTRACCIÓN POR COCCIONES		
		Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%
Costo	15%	2	0.4	6	4	0.8	12	2	0.4	6
Tiempo de extracción	10%	4	0.8	8	5	1	10	3	0.6	6
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>			<b>75</b>			<b>93</b>			<b>53</b>

Esta Tabla con sus ponderaciones y calificaciones son utilizadas con la finalidad de seleccionar el método más viable y factible para la extracción de Extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha.

La suma de los valores ponderados fijados en la columna “PORCENTAJE DE EVALUACIÓN” debe ser 100. En las columnas de “Calificación” se evalúa cada factor de la columna de “FACTORES A EVALUAR”, al otorgar un valor de 1 cuando el aspecto evaluado es malo, 2 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma regular, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma buena, 4 cuando cumpla con el aspecto en forma muy buena y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma excelente.

En las columnas “A”, la calificación asignada de cada método (columna “Calificación”) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener es decir 5.

En la columna “B” se multiplica el valor de cada renglón de la columna “A” por el valor ponderado de la columna “PORCENTAJE DE EVALUACIÓN” y finalmente se suman todos los renglones de la columna “B” para obtener la calificación global del proceso evaluado bajo las condiciones ponderadas en la columna “PORCENTAJE DE EVALUACIÓN”. El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

Con los resultados obtenidos de la tabla se determina que la mejor opción para la extracción de extracto de clorofila a buen costo y con un buen rendimiento es el método de Extracción por equipo sachet.

**2.11 Selección del solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*)**

Para la selección del solvente más adecuado, en la Tabla se utiliza el mismo método de calificación según la escala de Likert

**Tabla 17**

*Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de extracto de clorofila*

<b>Factor evaluado</b>	<b>Detalle</b>	<b>Porcentaje de evaluación</b>
Selectividad y Rendimiento	El hexano es el solvente orgánico que presenta mayor selectividad que otros, al igual que en rendimiento. Entre el etanol y metanol la diferencia de rendimientos es mínima	30%
Facilidad de Separación	El punto de ebullición del etanol es mayor que del hexano, teniendo metanol el más bajo. Lo que influye directamente en la temperatura de destilación y por lo tanto, en la facilidad de recuperación de los mismo.	25%
Costos y Disponibilidad	El hexano es sustancias controladas, por tanto, de difícil acceso, En cambio, el etanol y metanol se puede comprar fácilmente y el etanol a bajo costo.	25%

Factor evaluado	Detalle	Porcentaje de evaluación
Riesgos para la salud	<p>El NFPA 704 respecto a la salud del hexano, y del etanol, es “1”. Es decir, son materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico.</p> <p>En cambio, metanol tiene “3”, es decir, que es un material bajo cuya exposición intensa o continua puede sufrirse incapacidad temporal o posibles daños permanentes a menos que se dé tratamiento médico rápido.</p>	10%
Riesgo del Ambiente	<p>Los tres solventes presentan similares riesgos de exposición, por eso, su calificación se asigna en base al porcentaje de recuperación de los mismos durante la destilación.</p>	5%
Inflamabilidad	<p>Haciendo referencia al grado de inflamabilidad que se indica en el diamante de materiales peligrosos de cada solvente, el hexano , metanol y el etanol son de grado “3”,</p> <p>Es decir, es un material que se vaporiza rápido o completamente a la temperatura a presión atmosférica ambiental.</p>	5%

**Tabla 18**

*Matriz de decisión para el solvente utilizado en el proceso de obtención de extracto de clorofila a partir de las hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*)*

FACTORES A EVALUAR	PORCENTAJE DE EVALUACIÓN	Hexano			Metanol			Etanol		
		Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%	Calificación	Cal/ 5= C	C*%
Selectividad y Rendimiento	30	5	1	30	3	0.6	18	3	0.6	18
Facilidad de separación	25	4	0.8	20	2	0.4	10	5	1	25
Costo y disponibilidad	25	3	0.6	15	3	0.6	15	5	1	25
Riesgos para la salud	10	4	0.8	8	2	0.4	4	4	0.8	8
Riesgo del ambiente	5	4	0.8	4	3	0.6	3	4	0.8	4
Inflamabilidad	5	3	0.6	3	4	0-8	4	4	0.8	4
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>			<b>80</b>			<b>54</b>			<b>84</b>

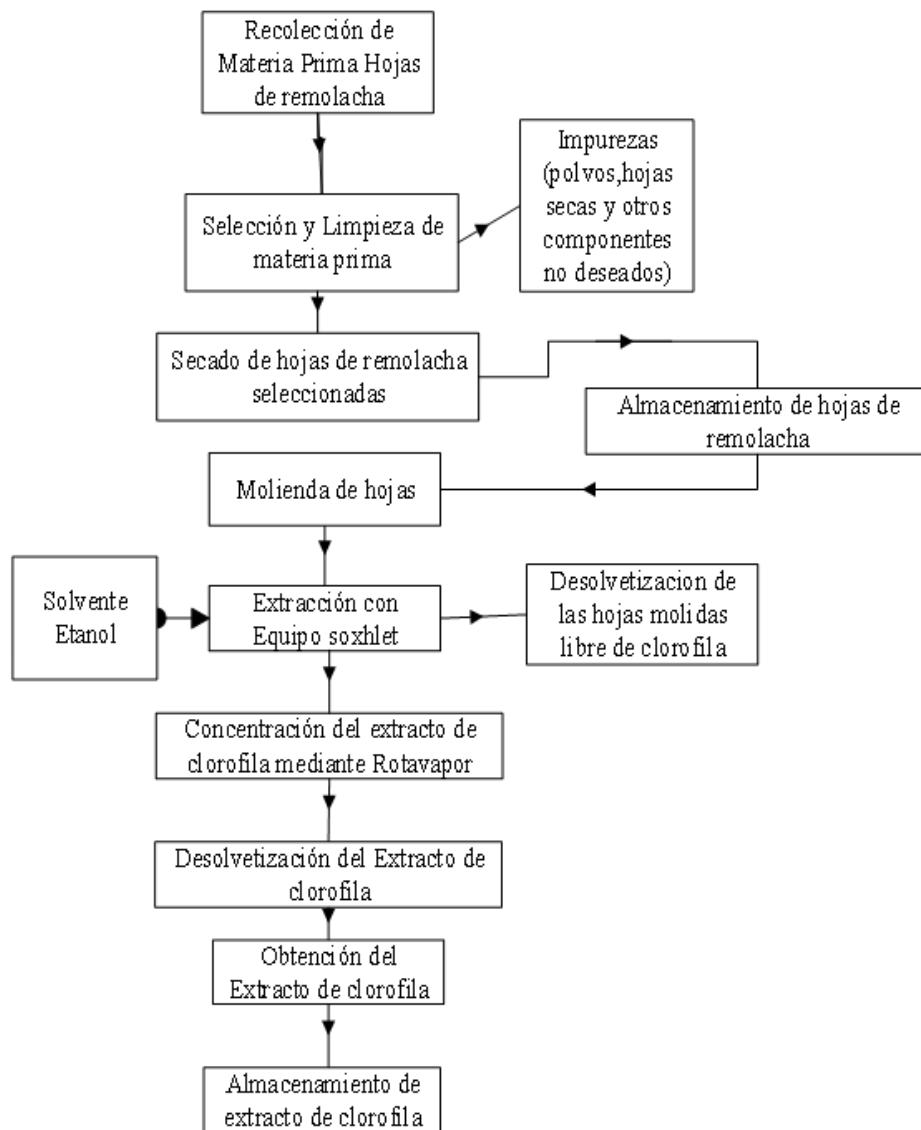
Una vez analizados los distintos factores considerados más importantes para la selección del solvente orgánico, utilizado en la extracción de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja con equipo Soxhlet, se tienen los resultados de la matriz de decisión, los cuales señalan al Etanol como el más adecuado. Por ser selectivo, presentar bajos costos con un rendimiento relativamente bueno, Cada solvente diferente produce extractos y composiciones específicos.

Huincho y Quiroz (2017) realizaron la tesis de CONDICIONES FAVORABLES PARA LA OBTENCIÓN DE CLOROFILA A PARTIR DE LAS HOJAS DE REMOLACHA (*Beta Vulgaris L.*) MEDIANTE EQUIPO SOXHLET MODIFICADO en el cual nos dice que el solvente más ampliamente utilizado para extraer extractos vegetales de las plantas es el etanol.

El compuesto químico etanol, conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un Líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C y punto de fusión de -114,1 °C. Es altamente inflamable, soluble en agua en cualquier proporción, reacciona violentamente con oxidantes fuertes y lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoniaco.

**Figura 11**

*Etapas en diagrama de bloques para el proceso obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de Remolacha*



#### 2.11.1 Concentración de extracto de clorofila

El rendimiento expresado como la concentración respecto a la cantidad de las diferentes hojas utilizadas de acuerdo a bibliografía revisada, es diverso dependiendo

las variedades de hojas, así como también el método utilizado para cada extracción. A continuación, se presentan los diferentes tipos de concentración obtenidos:

**Tabla 19**

*Concentración de extracto de clorofila*

Nº	Autor	Año- Localización	Parte de la planta utilizada	concentración (%) en cantidad expresado en ml/100g
1	Liz Deysi Huincho Espesa , Jonathan Eduardo Quiroz Julca	2017 – PERU (Callao)	Hojas de remolacha Roja	405 mg/L.
2	Ruiz Santiago F.L., Ruiz Velázquez J.A., Hernández Becerra J.A., García Jiménez, R, Valadez Villarreal A.	2019 – México (Tabasco)	Hojas Chaya	9.22 µg /g
			Hojas Chipilín	12.72 µg /g
			Hojas Perejil	4.35 µg /g
			Hojas Albahaca	2.78 µg /g
			Hojas Cilantro	5.3 µg /g
			Hojas Epazote	6.2 µg /g
			Hojas Cebollín	1.55 µg /g
			Hojas Oréganon	1.24 µg /g
			Hojas Momo	11.32 µg /g
			Hojas Hierba buena	3.18 µg /g

**CAPÍTULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

### **3.1 Caracterización de Materia Prima**

La materia prima utilizada para el presente trabajo de investigación son las hojas de Remolacha Roja (*Beta Vulgaris L.*), recolectadas en la comunidad de Calamuchita del departamento de Tarija.

La hoja de remolacha tiene en la parte superior glándulas ricas en clorofila que ofrecen el aroma fresco de bosque; estas son hojas de forma más o menos ovalada y de superficie lisa, con unas ramificaciones de color rojizo. Las hojas de la remolacha contienen luteína y zeaxantina -antioxidantes de la familia de los carotenoides-: son dos compuestos beneficiosos para algunos tipos de cáncer y también para la salud ocular. Asimismo, poseen un valor nutricional enriquecido principalmente de Magnesio 114.0 mg/100g, Calcio 183.0 mg/100g, Potasio 333 mg/1400g, Hierro 2.4mg/100g, Zinc 1.20 mg/100g, Manganese 2.6 mg/100g, Cobre 0.17mg/100g, Fosforo 21.03 mg/100g, Sodio 536.0 mg/100g, Fibra 1.60%, y con una concentración de clorofila de 4.02mg/g. (ver ANEXO II)

En nuestro país, de acuerdo a las costumbres y por desconocimiento, las hojas de remolacha no son consumidas por las personas, sino que son utilizadas en algunos casos como forraje para el ganado.

**Figura 12***Hojas de remolacha*

### 3.2 Descripción y Análisis de la materia prima

La Hoja de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) generada en el departamento de Tarija, es la materia prima utilizada en el presente proyecto de investigación. La caracterización fisicoquímica, composición química de la materia prima se determinó mediante los análisis realizados en la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO** en el **Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”**. Así también se realizó un análisis de **concentración de clorofila en hojas** de remolacha mismas que son utilizadas en el proyecto. Este análisis de cuantificación se realizó en el Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*. (Ver Anexos II)

Los parámetros determinados de la hoja de remolacha roja de la comunidad

“Calamuchita” perteneciente a la provincia avilés, fueron los siguientes:

- ✓ Determinación porcentual de Cenizas

- ✓ Determinación porcentual de Fibra
- ✓ Determinación porcentual de Grasa
- ✓ Determinación porcentual de Humedad
- ✓ Composición química
- ✓ Concentración de clorofila en hojas

Los resultados de dicho análisis realizado a la materia prima se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 20**

*Análisis Fisicoquímico de hojas de remolacha*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Ceniza	%	2.65
Fibra	%	1.60
Grasa	%	0.96
Humedad	%	89.51

*Nota.* Tomado del Centro de análisis, investigación y desarrollo “CEANID” (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISael SARACHo)(Ver Anexo II)

De acuerdo a esta tabla se determina el porcentaje de humedad presente en la hoja de remolacha (*Beta Vulgaris L.*) que es de 89.51 %.

**Tabla 21***Composición química en 100 gr de hoja de remolacha*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Calcio	mg/100g	183.0
Cobre	mg/100g	0.17
Fósforo	mg/100g	21.03
Hidratos de carbono	%	0.39
Hierro	mg/100g	2.4
Magnesio	mg/100g	114.0
Manganese	mg/100g	2.6
Materia seca	%	10.49
Potasio	mg/100g	333
Proteína total	%	4.89
Sodio	g/100g	596.0
Valor energético	Kcal/100g	29.76
Zinc	mg/100g	1.20

*Nota.* Tomado del Centro de análisis, investigación y desarrollo “CEANID”

(UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISael SARACHo) (Ver Anexo II)

De acuerdo a esta composición, las hojas de remolacha por cada 100g, repone una buena cantidad de nutrientes, es decir, tiene un valor nutritivo más elevado. Tiene un valor proteico mayor, aunque el contenido de grasa es escaso. Presenta un valor bajo

de calorías y carbohidratos, pero posee una buena fuente de fibra. En cuanto a vitaminas, las hojas de remolacha, presenta una fuente muy buena en Sodio, Magnesio y Potasio.

**Tabla 22**

*Concentración de clorofila en hojas de remolacha*

Cod. Muestra	mg Chlo/g de muestra
Ext. Total de Chlo	4.02

**Especificación: Chlo : Clorofila**

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*. (Ver Anexos II)

### 3.3 Diseño Experimental

#### 3.3.1 Selección de Variables del Proceso Tecnológico

La etapa principal del proceso de obtención de extracto de clorofila mediante extracción por solvente es la extracción, en este caso particular con equipo Soxhlet, misma que nos permite controlar variables que influyen en la velocidad de extracción, tales como: la relación soluto/solvente y tiempo de extracción. Generalmente la temperatura de extracción, es la temperatura de ebullición del solvente. Por lo tanto, las variables que se varían para conocer cuáles son los parámetros que permiten el mayor rendimiento de clorofila final, son relación soluto/solvente y tiempo de

extracción, mismos que según referencia bibliográfica son alrededor de relación masa/volumen de etanol es de 1:5 y el tiempo de extracción es de 60 minutos se obtuvo una concentración de clorofila mayor (Huincho & Quiroz, 2017).

### **3.4 Diseño Factorial**

Un experimento diseñado, es una prueba o serie de pruebas en las cuales se induce cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Pullido, 2008).

#### ***3.4.1 Diseño Factorial 3K***

El diseño factorial 3k considera a k como los factores con 3 niveles cada uno y tiene  $3^k$  tratamientos.

Existen varias formas de escribir el modelo del experimento factorial, uno de ellos es el modelo de regresión, mismo que relaciona la variable respuesta con los niveles de los factores.

La Tabla muestra los niveles de variación de las variables del proceso de obtención de extracto de clorofila mediante extracción por solvente, también llamadas factores.

**Tabla 23***Codificación de las variables*

Variable	Nivel		
	Alto	Intermedio	Bajo
Relación Masa/Volumen (gr/ml)	A(50/100)	B(50/150)	C(50/200)
tiempo de extracción (horas)	2	3	4

Donde:

3: Número de niveles

k: Número de factores

El número de experiencias es:  $3^2 = 9$  En total, incluyendo las repeticiones en cada experimento, se tiene:

Número de experiencias es:  $9 \times 2 = 18$  experimentos. El diseño factorial tiene como finalidad, estudiar todas las posibles combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

### 3.4.2 Identificación y operaciones de variables

En la Tabla se observa la identificación de las variables dependientes y las variables independientes, para las cuales vemos las operaciones a realizar de las mismas.

**Tabla 24***Identificación y operaciones de variables*

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Método
Obtención experimental de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja( <i>Beta Vulgaris L.</i> ) producida en el departamento de Tarija	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relación Masa/Volumen de etanol</li> <li>Tiempo de extracción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• g/ml</li> <li>• min</li> </ul>	Extracción con equipo SOXHLET
Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Método
Características Físicas y químicas de la hoja de remolacha ( <i>Beta Vulgaris L.</i> ) usada para la obtención de extracto de clorofila.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad</li> <li>• Composición nutricional</li> <li>• Cenizas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %Humedad</li> <li>• % de Nutrientes</li> <li>• % Cenizas</li> </ul>	Análisis en laboratorio “CEANID”
Valores experimentales más importantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relación Masa/Volumen de etanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• g/ml</li> <li>• min</li> </ul>	Extracción con equipo SOXHLET

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Método
de la extracción de clorofila de las hojas de remolacha con el equipo soxhlet.	• Tiempo de extracción		
Características Físicas y químicas de la clorofila obtenida de las hojas de remolacha (Beta Vulgaris L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de clorofila en extracto</li> <li>• Composición nutricional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mg/L</li> <li>• % de nutrientes</li> </ul>	Análisis con espectrofotómetro Análisis en laboratorio de química “UMSA”

Teniendo, las variables identificadas pasamos a determinar el número de repeticiones experimentales

- ✓ Relación Masa/Volumen (gr/ml) 1:2, 1:3 ,1:4
- ✓ Tiempo de extracción (horas) 2 , 3 ,4

En la Tabla N° III-6 se muestra la matriz de experimentos, misma que indica todas las posibles interacciones entre los factores que se someten a prueba durante el proceso.

**Tabla 25**

*Matriz de Diseño factorial para la extracción de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja*

Nº	Factores		RESPUESTA I	RESPUESTA II
	Relación Masa/Volumen	tiempo de extracción (h)	(Concentración) Clorofila	(Concentración) Clorofila
1	A(50.00/100)	2	<b>R1</b>	<b>R1</b>
2	B(50.00/150)	2	<b>R2</b>	<b>R2</b>
3	C(50.00/200)	2	<b>R3</b>	<b>R3</b>
4	A(50.00/100)	3	<b>R4</b>	<b>R4</b>
5	B(50.00/150)	3	<b>R5</b>	<b>R5</b>
6	C(50.00/200)	3	<b>R6</b>	<b>R6</b>
7	A(50.00/100)	4	<b>R7</b>	<b>R7</b>
8	B(50.00/150)	4	<b>R8</b>	<b>R8</b>
9	C(50.00/200)	4	<b>R9</b>	<b>R9</b>

R: variable respuesta a medir concentración de clorofila en extracto

### **3.4.3 Variable Respuesta**

La variable respuesta tomada, como la concentración de Clorofila en el extracto final obtenido.

## **3.5 Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados**

El presente proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*.

### 3.5.1 *Material de laboratorio, equipos y reactivos*

Los materiales, equipos y solventes fueron proporcionados por el Laboratorio “Bioorgánica I” y el Laboratorio “Sala de Cromatografía” de la Carrera de Ciencias Químicas - Universidad Mayor de “San Andrés” en la ciudad de La Paz.

#### 3.5.1.1 **Materiales de laboratorio**

En la Tabla III-7 se da detalles de los materiales empleados durante el transcurso del trabajo.

**Tabla 26**

*Materiales*

Material	Características	Cantidad
Vaso de precipitado (Glasscabol)	250 mL	1 unidad
Probeta (Glasscabol)	100 mL	1 unidad
Balón de fondo plano LMS (Germany)	500 mL	9 unidades
Refrigerante (Glasscabol)	Boca esmerilada 43 x 43 mm	3 unidades
Extractor Soxhlet de vidrio (Glasscabol)	Boca esmerilada 29 x 32 mm	9 unidades
Espátula	Acero inoxidable	1 unidad
Papel filtro	Whatman #	1 lámina de 60 x 60 cm
Bolsas de polietileno de baja densidad (Five Stick Bolivia)	5 Kg	30 unidades
Frasco de vidrio ámbar	50 mL	10 unidades
Probeta LMS (Germany)	500 mL	1 unidad
Matraz aforado LMS (Germany)	2000 mL	1 unidad
Termómetro de mercurio	DGW (- 10 a 300 °C)	1 unidad
Piseta	500 mL	1 unidad

### 3.5.2 *Equipos*

En la Tabla III-8 se indican los equipos utilizados.

**Tabla 27**

*Equipos*

Equipo	Características	Aplicación y Ficha Técnica
Extractor Soxhlet	Compuesto por los siguientes elementos: - Balón - Cartucho de extracción (muestra) - Sifón - Refrigerante (condensador) - Manto calefactor	Ver Anexo (IV)
Manto Calefactor Analógico	Hi – Tech PTHW1000	Ver Anexo (IV)
Rotaevaporador	Heidolph Laborota 4011	Ver Anexo (IV)
Balanza de Precisión	Radwag WTC 6C1/R	Ver Anexo (IV)
Balanza Analítica	Mettler Toledo ME104	Ver Anexo (IV)
Estufa Universal	Memmert UFE 400	Ver Anexo (IV)

#### 3.5.2.1 **Reactivos (Solventes)**

En la Tabla se da un detalle característico de los solventes empleados durante el transcurso de todo el trabajo.

**Tabla 28***Reactivos*

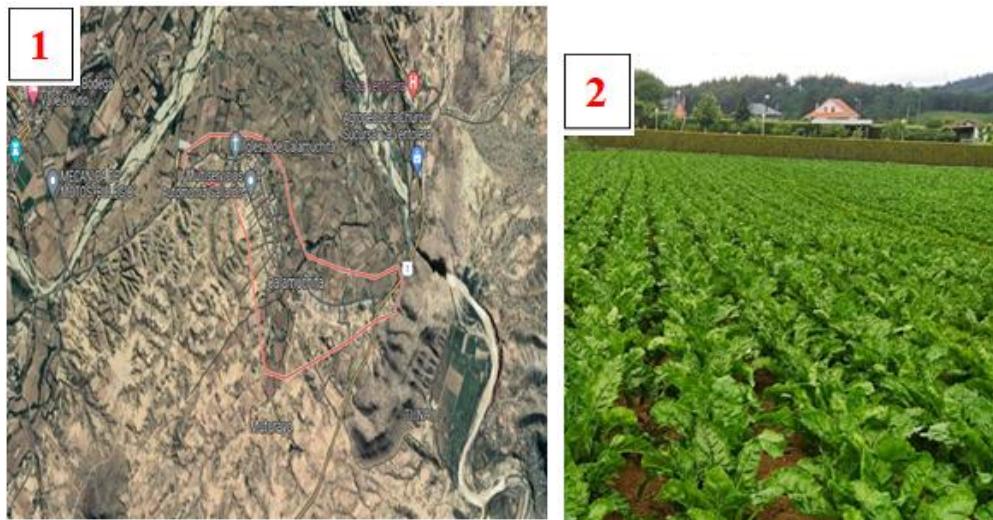
Reactivos	Pureza	Aplicación	Ficha Técnica
Etanol (comercial)	96 ° GL	Obtención de extractos de clorofila	Ver Anexo (V)
Agua	Destilada	Lavado del material	Ver Anexo (V)

### 3.6 Procedimiento Experimental

La investigación fue desarrollada en Instalaciones del Laboratorio “Sala de Cromatografía” de la Carrera de Ciencias Químicas - Universidad Mayor de “San Andrés” en la ciudad de La Paz. (ver Anexo VI)

#### 3.6.1 *Recolección de la materia prima*

El material vegetal para el estudio de obtención del extracto de clorofila, fueron hojas frescas, tiernas y jóvenes de Remolacha (*Beta Vulgaris L.*) colectadas en la Comunidad de Calamuchita del departamento de Tarija.

**Figura 13***Ubicación geográfica***Figura 14***Recolección de Materia Prima*

### ***3.6.2 Determinación de humedad de las hojas frescas***

Se determinó la humedad de las hojas frescas en el Centro de análisis, investigación y desarrollo “CEANID” (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO) (Ver Anexo II)

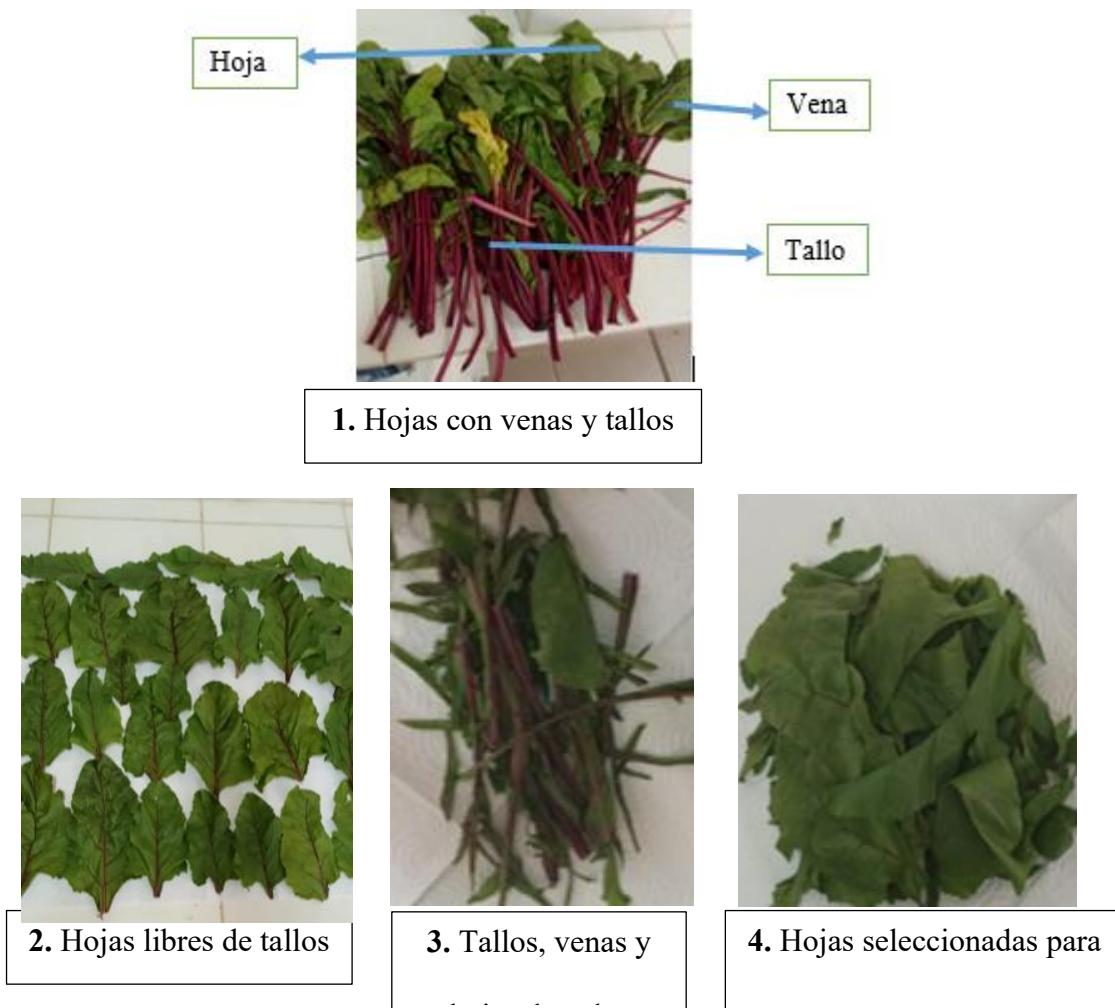
### ***3.6.3 Selección y limpieza de la materia prima***

De acuerdo al estudio realizado por Huerta y Ostos (2014), la materia prima vegetal debe ser seleccionada teniendo las siguientes consideraciones, considerando la madurez y que sean de color verde y libre de daños. Esta etapa es de importancia, debido a que si están marchitos o se encuentren en estado de descomposición pueden afectar en el proceso de obtención de la clorofila.

La materia prima vegetal recolectada se pesó en una balanza Radwag WTC 6C1/R e inmediatamente se examinó y se separaron manualmente, tallos, venas y las hojas dañadas. Posteriormente, con agua potable se realizó el lavado por sumersión para remoción de tierra de las hojas que se utilizó para la extracción de clorofila, finalmente se pesaron las hojas seleccionadas libres de tallos y venas gruesas.

**Figura 15**

*Proceso de selección y limpieza de la materia prima*



#### **3.6.4 Secado a sombra de las hojas de remolacha**

El proceso de secado tiene como finalidad la reducción del agua disponible y la velocidad de las reacciones en las hojas y para evitar el desarrollo de los microorganismos (Blog Agricultura, 2025).

El secado se realizó de forma natural en un depósito de las Instalaciones de la Carrera de Ciencias Químicas – UMSA, con las siguientes condiciones:

- Separar las hojas de remolacha a secar.
- Extender las hojas de remolacha sobre las bandejas de bolsas de polietileno de baja densidad.
- Dejar secar a temperatura ambiente en ausencia de luz por 14 días hasta peso constante.

**Figura 16**

*Secado de las hojas de remolacha*



### **3.6.5. Determinación de humedad de las hojas secas**

Se determinó la humedad de las hojas secas en el Laboratorio “Sala de Cromatografía” del Instituto de Investigaciones Químicas de la Carrera de Ciencias Químicas (ver Anexo VI).

### 3.6. Almacenamiento de las hojas secas de remolacha

**Figura 17**

*Almacenamiento de las hojas*



Las hojas secas de remolacha se guardaron en bolsas de polietileno de baja densidad herméticamente cerradas para evitar contaminación y proteger de la humedad.

### 3.6.7. Trituración y tamizado de las hojas secas

Las hojas secas se trituraron manualmente hasta obtener partículas de tamaño uniforme y se tamizó en un tamiz 5 MESH (4000  $\mu\text{m}$ ).

**Figura 18***Trituración y tamizados de las hojas secas*

### 3.6.8. Extracción de clorofila por método Soxhlet

La cantidad empleada de hojas trituradas fue 50 g y volúmenes de etanol 96° de 100 mL, 150 mL y 200 mL, utilizando las relaciones de masa / volumen de 1:2, 1:3 y 1:4, los tiempos de extracción fueron 2 h, 3h y 4h a una temperatura aproximadamente de 71°C.

Los pasos que se siguen para obtener el extracto son:

- Se procede a armar el equipo Soxhlet, se coloca sobre el manto calefactor el balón de fondo plano y se añade el solvente (volumen de etanol correspondiente), por encima del balón se instala el extractor Soxhlet en donde va el cartucho con la muestra. Este cartucho es de papel filtro, sellado con grapas. Finalmente, por encima del extractor va el refrigerante al cual se conectan dos mangueras, una para la entrada del agua y la otra para la salida

del agua.

- Una vez instalado el equipo se procede a la extracción, se abre la llave del agua para que circule por el refrigerante y a la vez se conecta el manto calefactor para que el solvente empiece a evaporarse y, por tanto, pueda extraer la clorofila de la muestra.
- Todo el proceso se repite por triplicado para cada relación de masa /volumen y el tiempo de extracción correspondiente.

**Figura 19**

*Extracción de clorofila por método Soxhlet*



### 3.6.5 Secado del extracto de clorofila empleando el equipo Rotavapor

Se llevó el extracto al rotavapor Heidolph Laborota 4011, a una temperatura de 45°C, 115 Pas y 70 rotaciones por minuto, por un tiempo aproximado de 90 min hasta eliminación del solvente.

**Figura 20**

*Secado del extracto de clorofila empleando el equipo Rotavapor*



#### 3.6.5.1 Desolventización del extracto de clorofila

Este proceso se realizó para eliminar las trazas de solvente en el producto, llevando el extracto de clorofila a la estufa durante 40 min (0.67 h) a una temperatura de 75 °C.

**Figura 21**

*Desolvantización del extracto de clorofila*



### **3.6.6 Almacenamiento del producto**

El producto final (extracto de clorofila) se almacena en pequeños recipientes de vidrio ámbar con la finalidad de proteger de la luz, y cerrados herméticamente. (ver Anexo VI)

**Figura 22**

*Desolvantización del extracto de clorofila*



### **3.6.7 Cuantificación de la clorofila**

Se realizó la cuantificación de la clorofila en los productos obtenidos en el Laboratorio “Sala de Cromatografía” del Instituto de Investigaciones Químicas de la Carrera de Ciencias Químicas (ver Anexo II).

### **3.7 Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de Extracto de clorofila a partir de las hojas de la remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*)**

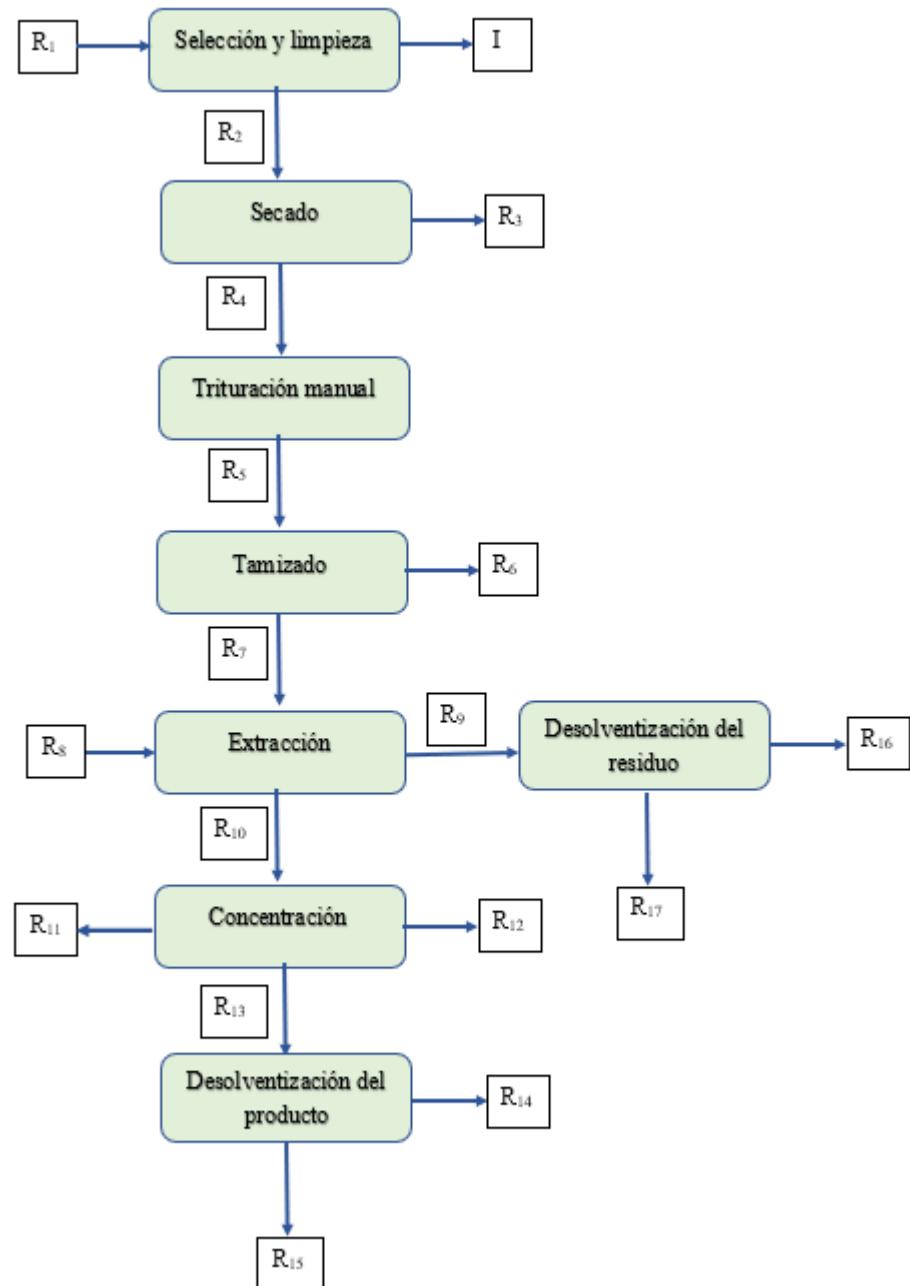
Una vez concluido con el desarrollo experimental del proceso obtención de extracto de clorofila a partir de las hojas de la remolacha, el Balance de Materia y Energía se realizó con las siguientes variables que proporcionaron una mayor cantidad de clorofila:

- ✓ Relación masa / volumen (1:4): 50.03 g con 200 mL de etanol
- ✓ Tiempo de extracción: 2 h

- ✓ Concentración de clorofila: 3.98 mg/g de muestra

**Figura 23**

*Diagrama de Bloques del Proceso*



La siguiente Tabla muestra las especificaciones de las corrientes de diagrama de bloques del proceso.

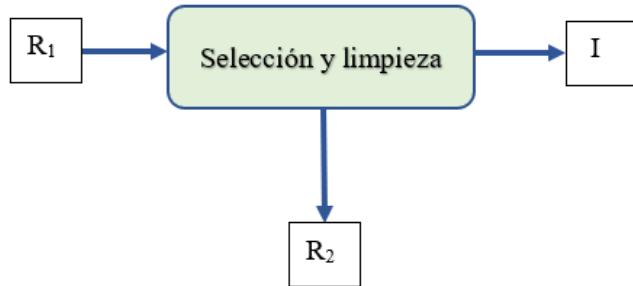
**Tabla 29**

*Corrientes del Proceso*

Corriente	Especificación	Corriente	Especificación
R <sub>1</sub>	Hojas de remolacha	R <sub>9</sub>	Residuo + etanol
R <sub>2</sub>	Hojas de remolacha seleccionadas y limpias	R <sub>10</sub>	Extracto de clorofila + etanol
I	Impurezas	R <sub>11</sub>	Etanol recuperado
R <sub>3</sub>	Vapor de agua	R <sub>12</sub>	Pérdida de etanol por concentrado
R <sub>4</sub>	Hojas de remolacha secas	R <sub>13</sub>	Extracto de clorofila + trazas de etanol
R <sub>5</sub>	Hojas de remolacha trituradas	R <sub>14</sub>	Etanol evaporado por desolventización del producto
R <sub>6</sub>	Pérdidas del tamizado	R <sub>15</sub>	Extracto de clorofila seco
R <sub>7</sub>	Hojas de remolacha tamizadas	R <sub>16</sub>	Etanol evaporado por desolventización del residuo
R <sub>8</sub>	Etanol 96° GL	R <sub>17</sub>	Residuo seco

### 3.7.1 Balance de Materia

#### Balance de Materia en la Etapa de Selección y Limpieza de las hojas de remolacha



$$R_1 (\text{Hojas de remolacha}) = 719,80 \text{ g}$$

$$I (\text{Impurezas}) = ?$$

$$R_2 (\text{Hojas de remolacha seleccionadas y limpias}) = 503,86 \text{ g}$$

$$\text{Humedad} = 89,51 \%$$

Balance Global

$$R_1 = I + R_2 \quad \text{Ec. 1}$$

Determinación de Impurezas

$$I = R_1 - R_2 \quad \text{Ec. 2}$$

$$I = 719,80 \text{ g} - 503,86 \text{ g} = 215,94 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de Impurezas} = \frac{215,94 \text{ g}}{719,80 \text{ g}} \times 100\% = 30,00 \%$$

Para la Corriente R<sub>2</sub>:

$$m_2\text{-hojas seleccionadas y limpias} = R_2 \times \text{base seca} \quad \text{Ec. 3}$$

$$m_2\text{-hojas seleccionadas y limpias} = R_2 \times (100\% - 89,51\%)$$

$$m_2\text{-hojas seleccionadas y limpias} = R_2 \times \frac{10,49\%}{100\%}$$

$$m_2\text{-hojas seleccionadas y limpias} = 503,86 \text{ g} \times \frac{10,49\%}{100\%} = 52,85 \text{ g}$$

$$X_2\text{-hojas seleccionadas y limpias} = \frac{m_2\text{-hojas seleccionadas y limpias}}{R_2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$X_{2-\text{hojas seleccionadas y limpias}} = \frac{52,85 \text{ g}}{503,86 \text{ g}} = 0,10$$

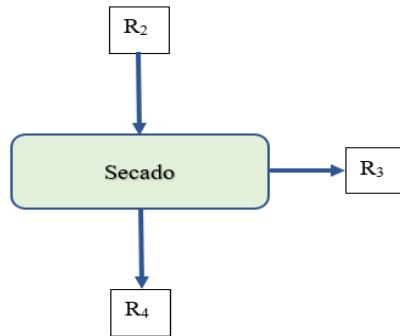
$$m_{2-H_2O} = R_2 \times \text{humedad} \quad \text{Ec. 5}$$

$$m_{2-H_2O} = 503,86 \text{ g} \times \frac{89,51 \%}{100 \%} = 451,00 \text{ g}$$

$$X_{2-H_2O} = \frac{m_{2-H_2O}}{R_2} \quad \text{Ec. 6}$$

$$X_{2-H_2O} = \frac{451,00 \text{ g}}{503,86 \text{ g}} = 0,90$$

### Balance de Materia en la Etapa de Secado de las hojas de remolacha



$$R_2 (\text{Hojas de remolacha seleccionadas y limpias}) = 503,86 \text{ g}$$

$$R_3 (\text{Vapor de agua}) = ?$$

$$R_4 (\text{Hojas de remolacha secas}) = 52,86 \text{ g}$$

$$\text{Humedad} = 10,49 \%$$

Balance Global

$$R_2 = R_3 + R_4 \quad \text{Ec. 7}$$

Determinación del Vapor de agua

$$R_3 = R_2 - R_4 \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_3 = 503,86 \text{ g} - 52,86 \text{ g} = 451,00 \text{ g}$$

Para la Corriente R4:

$$m_{4-\text{hojas secas}} = R_4 \times (100 - 10,49)\% \quad \text{Ec. 9}$$

$$m_{4-\text{hojas secas}} = R_4 \times \frac{89,51 \%}{100 \%}$$

$$m_{4-\text{hojas secas}} = 52,86 \text{ g} \times \frac{89,51 \%}{100 \%} = 47,31 \text{ g}$$

$$X_{4-\text{hojas secas}} = \frac{m_{4-\text{hojas secas}}}{R_4} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{4-\text{hojas secas}} = \frac{47,31 \text{ g}}{52,86 \text{ g}} = 0,90$$

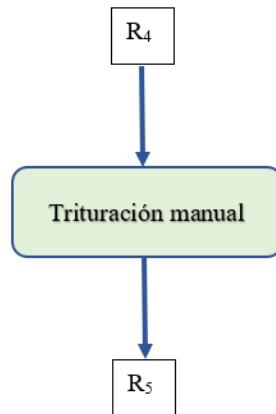
$$m_{4-H_2O} = R_4 \times \frac{10,49 \%}{100 \%} \quad \text{Ec. 11}$$

$$m_{4-H_2O} = 52,86 \text{ g} \times \frac{10,49 \%}{100 \%} = 5,54 \text{ g}$$

$$X_{4-H_2O} = \frac{m_{4-H_2O}}{R_4} \quad \text{Ec. 12}$$

$$X_{4-H_2O} = \frac{5,54 \text{ g}}{52,86 \text{ g}} = 0,10$$

**Balance de Materia en la Etapa de Trituración manual de las hojas de remolacha**



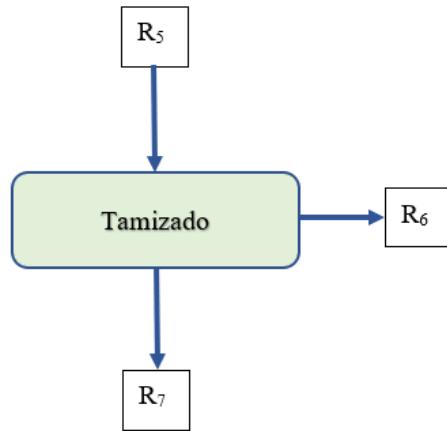
$$R_4 (\text{Hojas de remolacha secas}) = 52,86 \text{ g}$$

$$R_5 (\text{Hojas de remolacha trituradas}) = 52,86 \text{ g}$$

Balance Global

$$R_4 = R_5 \quad \text{Ec. 13}$$

**Balance de Materia en la Etapa de Tamizado de las hojas de remolacha**



**R<sub>5</sub>** (Hojas de remolacha triruradas) = 52,86 g

**R<sub>6</sub>** (Pérdidas del tamizado) = ?

**R<sub>7</sub>** (Hojas de remolacha tamizadas) = 50,06 g

Humedad = 10,49 %

Balance Global

$$R_5 = R_6 + R_7 \quad \text{Ec. 7}$$

Determinación de Pérdida del tamizado

$$R_6 = R_5 - R_7 \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_3 = 52,86 \text{ g} - 50,06 \text{ g} = 2,80 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de Pérdidas del tamizado} = \frac{2,80 \text{ g}}{52,86 \text{ g}} \times 100\% = 5,30 \%$$

Para la Corriente R<sub>7</sub>:

$$\% \text{ Rendimiento del tamizado} = \frac{R_7}{R_5} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento del tamizado} = \frac{50,06 \text{ g}}{52,86 \text{ g}} \times 100\% = 94,70 \%$$

$$m_{7-\text{hojas tamizadas}} = R_7 \times \frac{89,51 \%}{100 \%} \quad \text{Ec. 14}$$

$$m_{7-\text{hojas tamizadas}} = 50,06 \text{ g} \times \frac{89,51 \%}{100 \%} = 44,81 \text{ g}$$

$$X_{7-\text{hojas tamizadas}} = \frac{m_{7-\text{hojas tamizadas}}}{R_7} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{7-\text{hojas tamizadas}} = \frac{44,81 \text{ g}}{50,06 \text{ g}} = 0,90$$

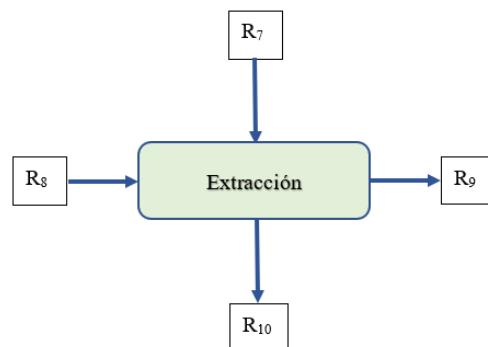
$$m_{7-H_2O} = R_7 \times \frac{10,49 \%}{100 \%} \quad \text{Ec. 11}$$

$$m_{7-H_2O} = 50,06 \text{ g} \times \frac{10,49 \%}{100 \%} = 5,25 \text{ g}$$

$$X_{7-H_2O} = \frac{m_{7-H_2O}}{R_7} \quad \text{Ec. 12}$$

$$X_{7-H_2O} = \frac{5,25 \text{ g}}{50,06 \text{ g}} = 0,10$$

**Balance de Materia en la Etapa de Extracción de clorofila de las hojas de remolacha**



$$R_7 (\text{Hojas de remolacha tamizadas}) = 50,06 \text{ g}$$

$$R_8 (\text{Etanol } 96^\circ \text{ GL}) = 161,80 \text{ g}$$

$$R_9 (\text{Residuo + etanol}) = ?$$

$$R_{10} (\text{Extracto de clorofila + etanol}) = 107,97 \text{ g}$$

**Determinación de la masa de Etanol 96° GL**

Datos:

$$V_{\text{etanol}} = 200 \text{ mL}$$

$$\rho_{\text{etanol}} = 0,809 \text{ g/mL}$$

$$m_{\text{etanol}} = 0,809 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 200 \text{ mL} = 161,80 \text{ g}$$

Balance Global

$$R_7 + R_8 = R_9 + R_{10} \quad \text{Ec. 7}$$

Determinación del Residuo + etanol

$$R_9 = R_7 + R_8 - R_{10} \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_9 = 50,06 \text{ g} + 161,80 \text{ g} - 107,97 \text{ g} = 103,89 \text{ g}$$

Para la Corriente R<sub>7</sub>:

Datos:

$$\% \text{ Rendimiento de extracto de clorofila total} = \frac{1,01 \text{ g extracto clorofila}}{10 \text{ g hojas de remolacha}} \times 100 \% = 10,10 \%$$

$$\text{Concentración de clorofila total} = \frac{4,11 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}}$$

$$m_{7-\text{clorofila total}} = R_7 \times \frac{1,01 \text{ g}}{10 \text{ g hojas de remolacha}} \times \frac{4,11 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}} \quad \text{Ec.15}$$

$$m_{7-\text{clorofila total}} = 50,06 \text{ g} \times \frac{1,01 \text{ g}}{10 \text{ g hojas de remolacha}} \times \frac{4,11 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}} = 20,84 \text{ mg clorofila}$$

$$m_{7-\text{clorofila total}} = 20,84 \text{ mg clorofila} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 20,84 \times 10^{-3} \text{ g clorofila}$$

$$X_{7-\text{clorofila total}} = \frac{m_{7-\text{clorofila total}}}{R_7} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{7-\text{clorofila total}} = \frac{20,84 \times 10^{-3} \text{ g}}{50,06 \text{ g}} = 4,16 \times 10^{-4}$$

Para la Corriente R<sub>8</sub>:

$$m_{8-\text{etanol}} = R_8 \times \frac{96 \%}{100 \%} \quad \text{Ec.11}$$

$$m_{8-\text{etanol}} = 161,80 \text{ g} \times \frac{96 \%}{100 \%} = 155,33 \text{ g}$$

$$X_{8-\text{etanol}} = \frac{m_{8-\text{etanol}}}{R_8} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{8-\text{etanol}} = \frac{155,33 \text{ g}}{161,80 \text{ g}} = 0,96$$

$$m_{8-\text{agua}} = R_8 \times \frac{4 \%}{100 \%} \quad \text{Ec.11}$$

$$m_{8-\text{agua}} = 161,80 \text{ g} \times \frac{4 \%}{100 \%} = 6,47 \text{ g}$$

$$X_{8-\text{agua}} = \frac{m_{8-\text{agua}}}{R_8} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{8-\text{agua}} = \frac{6,47 \text{ g}}{161,80 \text{ g}} = 0,04$$

Para la Corriente R<sub>9</sub>:

Datos:

$$m_{17-\text{residuo seco}} = 44,95 \text{ g}$$

$$m_{15-\text{clorofila en el producto}} = 20,10 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$m_{7\text{-clorofila total}} = 20,84 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$m_{16\text{-etanol evaporado (residuo)}} = 58,94 \text{ g}$$

Determinación de la Clorofila en el residuo + etanol

$$m_{9\text{-clorofila en el residuo}} = m_{7\text{-clorofila total}} - m_{15\text{-clorofila en el producto}} \quad \text{Ec.16}$$

$$m_{9\text{-clorofila en el residuo}} = 20,84 \times 10^{-3} \text{ g} - 20,10 \times 10^{-3} \text{ g} = 7,40 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$X_{9\text{-clorofila en el residuo}} = \frac{m_{9\text{-clorofila en el residuo}}}{R_9} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{9\text{-clorofila en el residuo}} = \frac{7,40 \times 10^{-4} \text{ g}}{103,89 \text{ g}} = 6,74 \times 10^{-6}$$

Determinación de la Base seca

$$m_{9\text{-base seca}} = m_{17\text{-residuo seco}} - m_{9\text{-clorofila en el residuo}} \quad \text{Ec.17}$$

$$m_{9\text{-base seca}} = 44,95 \text{ g} - 7,40 \times 10^{-4} \text{ g} = 44,94 \text{ g}$$

$$X_{9\text{-base seca}} = \frac{m_{9\text{-base seca}}}{R_9} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{9\text{-base seca}} = \frac{44,94 \text{ g}}{103,89 \text{ g}} = 0,43$$

Determinación del Etanol evaporado por desolvantización del residuo

$$m_{9\text{-etanol}} = m_{16\text{-etanol evaporado (residuo)}} \times \frac{96\%}{100\%} \quad \text{Ec.18}$$

$$m_{9\text{-etanol}} = 58,94 \text{ g} \times \frac{96\%}{100\%} = 56,58 \text{ g}$$

$$X_{9\text{-etanol}} = \frac{m_{9\text{-etanol}}}{R_9} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{9\text{-etanol}} = \frac{56,58 \text{ g}}{103,89 \text{ g}} = 0,54$$

$$m_{9\text{-agua}} = m_{16\text{-etanol evaporado (residuo)}} \times \frac{4\%}{100\%} \quad \text{Ec.19}$$

$$m_{9\text{-agua}} = 58,94 \text{ g} \times \frac{4\%}{100\%} = 2,36 \text{ g}$$

$$X_{9\text{-agua}} = \frac{m_{9\text{-agua}}}{R_9} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{9\text{-agua}} = \frac{2,36 \text{ g}}{103,89 \text{ g}} = 0,02$$

Para la Corriente  $R_{10}$ :

Datos:

$$\text{Concentración de clorofila en el producto} = \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}}$$

$$m_{13-\text{extracto de clorofila+trazas de etanol}} = 5,11 \text{ g}$$

$$m_8-\text{etanol} = 161,80 \text{ g}$$

$$m_{16-\text{etanol evaporado (residuo)}} = 58,94 \text{ g}$$

Determinación de la Clorofila en el Extracto de clorofila + etanol

$$m_{10-\text{clorofila}} = m_{13-\text{extracto de clorofila+trazas de etanol}} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}} \quad \text{Ec.20}$$

$$m_{10-\text{clorofila}} = 5,11 \text{ g extracto} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}} = 20,34 \text{ mg}$$

$$m_{10-\text{clorofila}} = 20,34 \text{ mg clorofila} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 20,34 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$X_{10-\text{clorofila}} = \frac{m_{10-\text{clorofila}}}{10} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{10-\text{clorofila}} = \frac{20,34 \times 10^{-3} \text{ g}}{107,97 \text{ g}} = 1,88 \times 10^{-4}$$

Determinación de la Base seca

$$m_{10-\text{base seca}} = m_{13-\text{extracto de clorofila+trazas de etanol}} - m_{10-\text{clorofila}} \quad \text{Ec.21}$$

$$m_{10-\text{base seca}} = 5,11 \text{ g} - 20,34 \times 10^{-3} \text{ g} = 5,09 \text{ g}$$

$$X_{10-\text{base seca}} = \frac{m_{10-\text{base seca}}}{R_{10}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{10-\text{base seca}} = \frac{5,09 \text{ g}}{107,97 \text{ g}} = 4,71 \times 10^{-2}$$

Determinación de Etanol en el extracto de clorofila

$$m_{10-\text{etanol en el extracto}} = m_8-\text{etanol} - m_{16-\text{etanol evaporado (residuo)}} \quad \text{Ec.22}$$

$$m_{10-\text{etanol en el extracto}} = 161,80 \text{ g} - 58,94 \text{ g} = 102,86 \text{ g}$$

$$m_{10-\text{etanol}} = m_{10-\text{etanol en el extracto}} \times \frac{96 \%}{100 \%} \quad \text{Ec.23}$$

$$m_{10-\text{etanol}} = 102,86 \text{ g} \times \frac{96 \%}{100 \%} = 98,74 \text{ g}$$

$$X_{10-\text{etanol}} = \frac{m_{10-\text{etanol}}}{R_{10}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{10-\text{etanol}} = \frac{98,74 \text{ g}}{107,97 \text{ g}} = 0,91$$

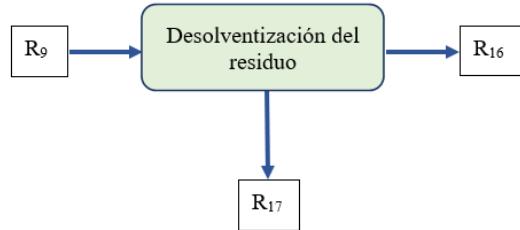
$$m_{10-\text{agua}} = m_{10-\text{etanol en el extracto}} \times \frac{4 \%}{100 \%} \quad \text{Ec.24}$$

$$m_{10-\text{agua}} = 102,86 \text{ g} \times \frac{4 \%}{100 \%} = 4,11 \text{ g}$$

$$X_{10-\text{agua}} = \frac{m_{10-\text{agua}}}{R_{10}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{10-\text{agua}} = \frac{2,36 \text{ g}}{107,97 \text{ g}} = 0,04$$

### Balance de Materia en la Etapa de Desolvantización del residuo



$$R_9 (\text{Residuo} + \text{etanol}) = 103,89 \text{ g}$$

$$R_{16} (\text{Etanol evaporado por desolvantización del residuo}) = ?$$

$$R_{17} (\text{Residuo seco}) = 44,95 \text{ g}$$

Balance global:

$$R_9 = R_{16} + R_{17} \quad \text{Ec. 7}$$

### Determinación del Etanol evaporado por desolvantización del residuo

$$R_{16} = R_9 - R_{17} \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_{16} = 103,89 \text{ g} - 44,95 \text{ g} = 58,94 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de etanol evaporado} = \frac{58,94 \text{ g}}{161,80 \text{ g}} \times 100\% = 36,43 \%$$

Para la Corriente R<sub>17</sub>:

Determinación de Clorofila en el residuo seco

$$m_{17-\text{clorofila en el residuo seco}} = m_{7-\text{clorofila total}} - m_{15-\text{clorofila en el producto}} \quad \text{Ec. 25}$$

$$m_{17-\text{clorofila en el residuo seco}} = 20,84 \times 10^{-3} \text{ g} - 20,10 \times 10^{-3} \text{ g} = 7,40 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$X_{17-\text{clorofila en el residuo seco}} = \frac{m_{7-\text{clorofila en el residuo seco}}}{R_{17}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{17-\text{clorofila en el residuo seco}} = \frac{7,40 \times 10^{-4} \text{ g}}{44,95 \text{ g}} = 1,56 \times 10^{-5}$$

Determinación de la Base seca

$$m_{17-\text{base seca}} = m_{17-\text{residuo seco}} - m_{17-\text{clorofila en el residuo seco}} \quad \text{Ec. 26}$$

$$m_{17-\text{base seca}} = 44,95 \text{ g} - 7,40 \times 10^{-4} \text{ g} = 44,94 \text{ g}$$

$$X_{17-\text{base seca}} = \frac{m_{17-\text{base seca}}}{R_{17}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{17-\text{base seca}} = \frac{44,94 \text{ g}}{44,95 \text{ g}} = 0,999$$

Para la Corriente R<sub>16</sub>:

$$m_{16-\text{etanol}} = R_{16} \times \frac{96 \%}{100 \%} \quad \text{Ec. 27}$$

$$m_{16-\text{etanol}} = 58,94 \text{ g} \times \frac{96 \%}{100 \%} = 56,58 \text{ g}$$

$$X_{16-\text{etanol}} = \frac{m_{16-\text{etanol}}}{R_{16}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{16-\text{etanol}} = \frac{56,58 \text{ g}}{58,94 \text{ g}} = 0,96$$

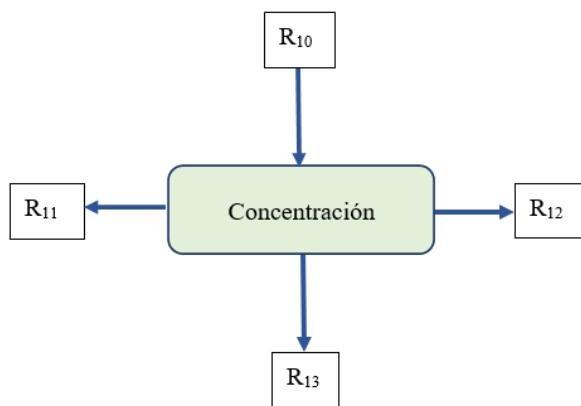
$$m_{16-\text{agua}} = R_{16} \times \frac{4 \%}{100 \%} \quad \text{Ec. 28}$$

$$m_{16-\text{agua}} = 58,94 \text{ g} \times \frac{4 \%}{100 \%} = 2,36 \text{ g}$$

$$X_{16-\text{agua}} = \frac{m_{16-\text{agua}}}{R_{16}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{16-\text{agua}} = \frac{2,36 \text{ g}}{58,94 \text{ g}} = 0,04$$

### Balance de Materia en la Etapa de Concentración del extracto de clorofila



$$R_{10} (\text{Extracto de clorofila + etanol}) = 107,97 \text{ g}$$

$$R_{11} (\text{Etanol recuperado}) = 97,08 \text{ g}$$

$$R_{12} (\text{Pérdida de etanol por concentrado}) = ?$$

$$R_{13} (\text{Extracto de clorofila + trazas de etanol}) = 5,11 \text{ g}$$

Balance global:

$$R_{10} = R_{11} + R_{12} + R_{13} \quad \text{Ec. 7}$$

### Determinación de la Pérdida de etanol por concentrado

$$R_{12} = R_{10} - R_{11} - R_{13} \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_{12} = 107,97 \text{ g} - 97,08 \text{ g} - 5,11 \text{ g} = 5,78 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de etanol evaporado} = \frac{58,94 \text{ g}}{161,80 \text{ g}} \times 100\% = 36,43\%$$

Para la Corriente  $R_{11}$ :

$$m_{11\text{-etanol}} = R_{11} \times \frac{96\%}{100\%}$$

$$m_{11\text{-etanol}} = 97,08 \text{ g} \times \frac{96\%}{100\%} = 93,20 \text{ g}$$

$$X_{11\text{-etanol}} = \frac{m_{11\text{-etanol}}}{R_{11}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{11\text{-etanol}} = \frac{93,20 \text{ g}}{97,08 \text{ g}} = 0,96$$

$$m_{11\text{-agua}} = R_{11} \times \frac{4\%}{100\%}$$

$$m_{11\text{-agua}} = 97,08 \text{ g} \times \frac{4\%}{100\%} = 3,88 \text{ g}$$

$$X_{11\text{-agua}} = \frac{m_{11\text{-agua}}}{R_{11}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{11\text{-agua}} = \frac{3,88 \text{ g}}{97,08 \text{ g}} = 0,04$$

Para la Corriente  $R_{12}$ :

$$m_{12\text{-etanol}} = R_{12} \times \frac{96\%}{100\%}$$

$$m_{12\text{-etanol}} = 5,78 \text{ g} \times \frac{96\%}{100\%} = 5,55 \text{ g}$$

$$X_{12\text{-etanol}} = \frac{m_{12\text{-etanol}}}{R_{12}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{12\text{-etanol}} = \frac{5,55 \text{ g}}{5,78 \text{ g}} = 0,96$$

$$m_{12\text{-agua}} = R_{12} \times \frac{4\%}{100\%}$$

$$m_{12\text{-agua}} = 5,78 \text{ g} \times \frac{4\%}{100\%} = 0,23 \text{ g}$$

$$X_{12\text{-agua}} = \frac{m_{12\text{-agua}}}{R_{12}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{12\text{-agua}} = \frac{0,23 \text{ g}}{5,78 \text{ g}} = 0,04$$

Para la Corriente R<sub>13</sub>:

Datos:

$$\text{Concentración de clorofila en el producto} = \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}}$$

$$m_{14-} \text{ etanol evaporado (producto)} = 0,06 \text{ g}$$

Determinación de Clorofila en el Extracto de clorofila + trazas de etanol

$$m_{13-} \text{ clorofila} = R_{13} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}}$$

$$m_{13-} \text{ clorofila} = 5,11 \text{ g extracto} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}} = 20,34 \text{ mg}$$

$$m_{13-} \text{ clorofila} = 20,34 \text{ mg clorofila} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 20,34 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$X_{13-} \text{ clorofila} = \frac{m_{13-} \text{ clorofila}}{R_{13}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{13-} \text{ clorofila} = \frac{20,34 \times 10^{-3} \text{ g}}{5,11 \text{ g}} = 3,98 \times 10^{-3}$$

Determinación de la Base seca

$$m_{13-} \text{ base seca} = m_{13-} \text{ extracto de clorofila+trazas de etanol} - m_{10-} \text{ clorofila} \quad \text{Ec. 29}$$

$$m_{13-} \text{ base seca} = 5,11 \text{ g} - 20,34 \times 10^{-3} \text{ g} = 5,09 \text{ g}$$

$$X_{13-} \text{ base seca} = \frac{m_{13-} \text{ base seca}}{R_{13}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{13-} \text{ base seca} = \frac{5,09 \text{ g}}{5,11 \text{ g}} = 0,99$$

Determinación de Trazas de etanol en el extracto de clorofila

$$m_{13-} \text{ etanol} = m_{14-} \text{ etanol evaporado (producto)} \times \frac{96 \%}{100 \%}$$

$$m_{13-} \text{ etanol} = 0,06 \text{ g} \times \frac{96 \%}{100 \%} = 5,76 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$X_{13-} \text{ etanol} = \frac{m_{13-} \text{ etanol}}{R_{13}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{13-} \text{ etanol} = \frac{5,76 \times 10^{-2} \text{ g}}{5,11 \text{ g}} = 1,13 \times 10^{-2}$$

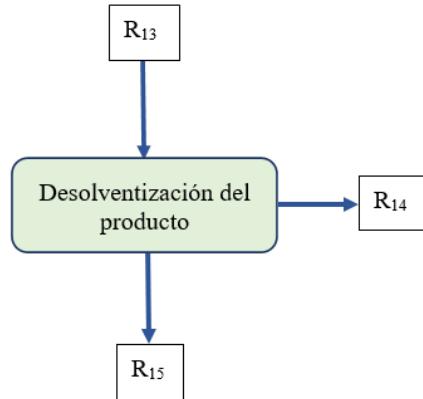
$$m_{13-} \text{ agua} = m_{14-} \text{ etanol evaporado (producto)} \times \frac{4 \%}{100 \%}$$

$$m_{13-} \text{ agua} = 0,06 \text{ g} \times \frac{4 \%}{100 \%} = 2,40 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$X_{13-} \text{ agua} = \frac{m_{13-} \text{ agua}}{R_{13}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{13\text{-agua}} = \frac{2,40 \times 10^{-3} \text{ g}}{5,11 \text{ g}} = 4,70 \times 10^{-4}$$

### Balance de Materia en la Etapa de Desolvantización del producto



**R<sub>13</sub>** (Extracto de clorofila + trazas de etanol) = 5,11 g

**R<sub>14</sub>** (Etanol evaporado por desolvantización del producto) = ?

**R<sub>15</sub>** (Extracto de clorofila seco) = 5,05 g

Humedad = 4,75 %

Balance global:

$$R_{13} = R_{14} + R_{15} \quad \text{Ec. 7}$$

### Determinación del Etanol evaporado por desolvantización del producto

$$R_{14} = R_{13} - R_{15} \quad \text{Ec. 8}$$

$$R_{14} = 5,11 \text{ g} - 5,05 \text{ g} = 0,06 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de etanol evaporado} = \frac{0,06 \text{ g}}{161,80 \text{ g}} \times 100\% = 0,04 \%$$

Para la Corriente R<sub>14</sub>:

$$m_{14\text{-etanol}} = R_{14} \times \frac{96\%}{100\%} \quad \text{Ec.11}$$

$$m_{14\text{-etanol}} = 0,06 \text{ g} \times \frac{96\%}{100\%} = 5,76 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$X_{14\text{-etanol}} = \frac{m_{14\text{-etanol}}}{R_{14}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{14\text{-etanol}} = \frac{5,76 \times 10^{-2} \text{ g}}{0,06 \text{ g}} = 0,96$$

$$m_{14\text{-agua}} = R_{14} \times \frac{4\%}{100\%} \quad \text{Ec.11}$$

$$m_{14\text{-agua}} = 0,06 \text{ g} \times \frac{4\%}{100\%} = 2,40 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$X_{14\text{-agua}} = \frac{m_{14\text{-agua}}}{R_{14}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{14\text{-agua}} = \frac{2,40 \times 10^{-3} \text{ g}}{0,06 \text{ g}} = 0,04$$

Para la Corriente R<sub>15</sub>:

Datos:

$$\text{Concentración de clorofila en el producto} = \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto clorofila}}$$

Determinación de clorofila en el extracto seco

$$m_{15\text{-extracto de clorofila seco}} = R_{15} \times (100 - 4,75)\%$$

$$m_{15\text{-extracto de clorofila seco}} = R_{15} \times \frac{9,25\%}{100\%}$$

$$m_{15\text{-extracto de clorofila seco}} = 5,05 \text{ g} \times \frac{9,25\%}{100\%} = 4,81 \text{ g}$$

$$m_{15\text{-clorofila}} = R_{15} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}}$$

$$m_{15\text{-clorofila}} = 5,05 \text{ g} \times \frac{3,98 \text{ mg clorofila}}{1 \text{ g extracto}} = 20,10 \text{ mg}$$

$$m_{15\text{-clorofila}} = 20,10 \text{ mg clorofila} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 20,10 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$X_{15\text{-clorofila}} = \frac{m_{15\text{-clorofila}}}{R_{15}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{15\text{-clorofila}} = \frac{20,10 \times 10^{-3} \text{ g}}{5,05 \text{ g}} = 3,98 \times 10^{-3}$$

Determinación de la Base seca

$$m_{15\text{-base seca}} = m_{15\text{-extracto seco}} - m_{15\text{-clorofila en el extracto seco}}$$

$$m_{15\text{-base seca}} = 5,05 \text{ g} - 20,10 \times 10^{-3} \text{ g} = 5,03 \text{ g}$$

$$X_{15\text{-base seca}} = \frac{m_{15\text{-base seca}}}{R_{15}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$X_{15\text{-base seca}} = \frac{5,03 \text{ g}}{5,05 \text{ g}} = 0,99$$

Determinación de agua en el producto

$$m_{15\text{-H}_2\text{O}} = R_{15} \times \frac{4,75\%}{100\%} \quad \text{Ec. 11}$$

$$m_{15\text{-H}_2\text{O}} = 5,05 \text{ g} \times \frac{4,75\%}{100\%} = 0,24 \text{ g}$$

$$X_{15-H_2O} = \frac{m_{15-H_2O}}{R_2}$$

$$X_{15-H_2O} = \frac{0,24 \text{ g}}{5,05 \text{ g}} = 0,04$$

**3.8 Balance de Energía proceso tecnológico experimental de obtención de Extracto de clorofila a partir de las hojas de la remolacha roja (Beta Vulgaris L)**

**3.8.1 Balance de Energía en el Manto de Calefacción**

b en el manto de calefacción:

Potencia = 0,53 KW

Tiempo de extracción = 2 h

$$Q_1 = \text{Potencia} * t_{\text{extracción}}$$

$$Q_1 = 0,53 \text{ KW} * 2 \text{ h} = 1,06 \text{ KW} \cdot \text{h}$$

**3.8.2 Balance de Energía en Equipo Soxhlet**

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

$$Q_{\text{entregado}} = m_{\text{etanol}} * \Delta T * C_{\text{p,etanol}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 0,1618 \text{ Kg} * (71 - 18)^\circ\text{C} * 2,49 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 21,35 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{absorbido}} = (m_{\text{etanol}} * \Delta T * C_{\text{p,etanol}}) + (m_{\text{extracto}} * \Delta T * C_{\text{p,extracto}})$$

$$C_{\text{p,extracto}} = \frac{Q_{\text{absorbido}} - (m_{\text{etanol}} * \Delta T * C_{\text{p,etanol}})}{m_{\text{extracto}} * \Delta T}$$

$$C_{\text{p,extracto}} = \frac{21,35 \text{ KJ} - (0,1618 \text{ Kg} * (72 - 45)^\circ\text{C} * 2,49 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}})}{0,10797 \text{ Kg} * (72 - 45)^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{p,extracto}} = 3,59 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$Q_2 = 21,35 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ KJ}} = 5,93 \times 10^{-3} \text{ KW}$$

### 3.8.3 Balance de Energía en el Refrigerante

$$Q_3 = Q_4$$

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

$$(\lambda_{\text{etanol}} * m_{\text{etanol}}) + (m_{\text{etanol}} * Cp_{\text{etanol}} * \Delta T) = m_{\text{agua-ref}} * Cp_{\text{agua}} * \Delta T$$

$$m_{\text{agua-ref}} = \frac{(\lambda_{\text{etanol}} * m_{\text{etanol}}) + (m_{\text{etanol}} * Cp_{\text{etanol}} * \Delta T)}{Cp_{\text{agua}} * \Delta T}$$

$$m_{\text{agua-ref}} = \frac{\left(837,85 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0,1618 \text{ Kg}\right) + \left(0,1618 \text{ Kg} * 2,49 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (72 - 18)^{\circ}\text{C}\right)}{4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (21 - 19)^{\circ}\text{C}}$$

$$m_{\text{agua-ref}} = 18,80 \text{ Kg}$$

$$Q_4 = 18,80 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (21 - 19)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_3 = Q_4 = 157,32 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ KJ}} = 0,044 \text{ KW}$$

### 3.8.4 Balance de Energía en el Rota vapor

La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 0,115 KPa, por lo que la presión del sistema es:

$$P_{\text{sistema}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{redu}}$$

$$P_{\text{sistema}} = 65,99 \text{ KPa} - 0,115 \text{ KPa}$$

$$P_{\text{sistema}} = 65,88 \text{ KPa}$$

A esta presión la temperatura de ebullición del etanol es:

$$T_{\text{ebullición-ethanol}} = 45^{\circ}\text{C}$$

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

$$Q_{\text{entregado}} = m_{\text{baño-agua}} * Cp_{\text{agua}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{entregado}} = 3,60 \text{ Kg} * (60 - 17)^{\circ}\text{C} * 4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{entregado}} = 647,68 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{absorbido}} = (m_{\text{etanol}} * Cp_{\text{etanol}} * \Delta T) + (m_{\text{extracto}} * Cp_{\text{extracto}} * \Delta T)$$

Calculando el Cp del extracto:

$$Cp_{extracto} = \frac{Q_{absorbido} - (m_{etanol} * \Delta T * Cp_{etanol})}{m_{extracto} * \Delta T}$$

$$Cp_{extracto} = \frac{647,68 \text{ KJ} - (0,09708 \text{ Kg} * (45 - 17)^\circ\text{C} * 2,81 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}})}{0,00511 \text{ Kg} * (60 - 17)^\circ\text{C}}$$

$$Cp_{extracto} = 2912,86 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$Q_5 = 647,68 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ KJ}} = 0,18 \text{ KW}$$

La potencia que se necesita para el baño según especificaciones técnicas del equipo es de 530 W = 0,530 KJ/s (Anexo IV) y por lo que el tiempo mínimo requerido es:

$$Q_{entregado} = Potencia * tiempo (s)$$

$$\text{Tiempo} = \frac{Q_{entregado}}{Potencia} = \frac{647,68 \text{ KJ}}{0,530 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}}$$

$$\text{Tiempo} = 1222,04 \text{ s} = 20 \text{ min}$$

### 3.8.5 Balance de Energía en el Condensador

Temperatura de salida del serpentín: 21°C, el agua necesaria para condensar el etanol es:

$$Q_6 = Q_7$$

$$Q_{absorbido} = Q_{entregado}$$

$$(\lambda_{etanol} * m_{etanol}) + (m_{etanol} * Cp_{etanol} * \Delta T) = m_{agua-cond} * Cp_{agua} * \Delta T$$

$$m_{agua-cond} = \frac{(\lambda_{etanol} * m_{etanol}) + (m_{etanol} * Cp_{etanol} * \Delta T)}{Cp_{agua} * \Delta T}$$

$$m_{agua-cond} = \frac{\left(837,85 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0,09708 \text{ Kg}\right) + \left(0,09708 \text{ Kg} * 2,81 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (45 - 17)^\circ\text{C}\right)}{4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (21 - 17)^\circ\text{C}}$$

$$m_{agua-ref} = 5,32 \text{ Kg}$$

$$Q_4 = 5,32 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (21 - 19)^\circ\text{C}$$

$$Q_3 = Q_4 = 44,52 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ KJ}} = 0,012 \text{ KW}$$

### 3.8.6 Balance de Energía en la Estufa (producto)

Calor sensible para subir la temperatura del solvente hasta el punto de ebullición

$$Q_{\text{sensible}} = (m_{\text{extracto}} * C_{p_{\text{extracto}}} * \Delta T) + (m_{\text{etanol}} * C_{p_{\text{etanol}}} * \Delta T)$$

$$Q_{\text{sensible}} = \left( 0,00511 \text{ Kg} * 2912,86 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (75 - 40)^\circ\text{C} \right)$$

$$+ \left( 6,00 \times 10^{-5} \text{ Kg} * 2,81 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (75 - 40)^\circ\text{C} \right)$$

$$Q_{\text{sensible}} = 520,97 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ KJ}} = 0,14 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0,14 \text{ KW}$$

Para calcular el calor latente para evaporar el solvente, primero se calcula la potencia de la estufa para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento:

$$t_{\text{calentamiento}} = 25 \text{ min} = 0,42 \text{ h}$$

$$\text{Potencia} = \frac{Q_{\text{sensible}}}{t_{\text{calentamiento}}}$$

$$\text{Potencia} = \frac{0,14 \text{ KW}}{0,42 \text{ h}} = 0,33 \frac{\text{KW}}{\text{h}}$$

Posteriormente para calcular el calor latente se multiplica la potencia de la estufa con el tiempo de la etapa de Desolvantización:

$$t_{\text{desolvantización}} = 40 \text{ min} = 0,67 \text{ h}$$

$$Q_{\text{latente}} = \text{Potencia} * t_{\text{desolvantización}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 0,33 \frac{\text{KW}}{\text{h}} * 0,67 \text{ h} = 0,22 \text{ KW}$$

El calor requerido para la extracción es:

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 0,14 \text{ KW} + 0,22 \text{ KW} = 0,36 \text{ KW}$$

El calor requerido para la extracción es:

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 0,14 \text{ KW} + 0,22 \text{ KW} = 0,36 \text{ KW}$$

### 3.9 Análisis estadístico del diseño experimental

**Tabla 30**

*Datos experimentales del proceso de obtención del extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja*

Nº	Factores		tiempo de extracción (h)	Respuesta I	Respuesta II	Promedio	DS
	Relación Masa/Volumen			Concentración Clorofila	Concentración Clorofila		
				(g)	(g)		
1	A(50,00/100)	2	2	2,75	2,78	2,77	0,02
2	B(50,00/150)	2	2	3,33	3,37	3,35	0,03
3	<b>C(50,00/200)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3,96</b>	<b>3,99</b>	<b>3,98</b>	<b>0,02</b>
4	A(50,00/100)	3	3	1,91	1,94	1,93	0,02
5	B(50,00/150)	3	3	2,07	2,11	2,08	0,02
6	C(50,00/200)	3	3	2,68	2,72	2,70	0,03
7	A(50,00/100)	4	4	2,06	1,97	2,01	0,07
8	B(50,00/150)	4	4	2,27	2,24	2,25	0,02
9	C(50,00/200)	4	4	2,53	2,56	2,55	0,02

Nota. Tomado de SSPS 22.0.

Especificación: DS = desviación estándar

El extracto de Clorofila se obtuvo a partir del proceso de extracción, empleando las siguientes variables: la relación soluto/solvente, en donde se tomó tres cantidades diferentes, la variable A, indica la mayor cantidad de solvente, la variable B, indica la cantidad intermedia de solvente, y la variable C, indica la menor cantidad de solvente, utilizando las mismas cantidades de materia prima para las tres variables, estas variables se combinó utilizando tres tiempos diferentes de extracción (2 h, 3 h y 4 h).

Con respecto al rendimiento de extracción, se obtuvo mayor concentración de extracto de clorofila en un promedio de 3.98 g, utilizando las variables 50.00/200 ; 2 h (sóluto/solvente, tiempo).

### **3.9.1 Cálculo del Análisis de Varianza**

La prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si las medias muestrales provienen de poblaciones con medias iguales, cuando hay más de dos poblaciones en estudio.

El análisis de varianza permite comparar simultáneamente todas las medias.

Suposiciones necesarias para el análisis de varianza.

- Las poblaciones tienen distribución normal.
- Las poblaciones tienen varianzas iguales.
- Las muestras son independientes.

### 3.9.1.1 Definiciones

**Tratamiento:** Es la fuente de datos cuya variación proporciona las observaciones.

Sean,

$k$ : Número de tratamientos.

$n$ : Número total de observaciones en todos los tratamientos combinados.

$n_j$ : Número total de observaciones en cada tratamiento  $j = 1, 2, \dots, k$ .

$x_{ij}$ : Es la  $i$ -esima observación del tratamiento  $j$ .

$\bar{X}_j$ : Media muestral del tratamiento  $j$  (incluye las observaciones de cada tratamiento).

$\bar{X}$ : Media muestral general (incluye a todas las observaciones de todos los tratamientos).

**Variación Total:** Es la variación total combinada de las observaciones de todos los tratamientos con respecto a la media general.

Media muestral general:  $\bar{\bar{X}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{i,j}$

Variación total:  $SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{i,j} - \bar{\bar{X}})^2$  (Suma cuadrática total)

**Variación de tratamientos:** Es la variación atribuida a los efectos de los tratamientos.

Media muestral del tratamiento  $j$ :  $\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} X_{i,j}$

Variación de tratamientos:  $SCTr = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2$  (Suma cuadrática de tratamientos)

**Variación aleatoria o error:** Es la variación dentro de cada tratamiento debido a errores en el experimento.

Variación aleatoria o error:  $SCE = SCT - SCTr$  (Suma cuadrática del error)

La ecuación  $SCT = SCTr - SCE$  separa la variación total en dos componentes: el primero corresponde a la variación atribuida a los tratamientos y el segundo es la variación atribuida a la aleatoriedad o errores del experimento.

$SCTr$  tiene  $k - 1$  grados de libertad (varianza ponderada con  $k$  tratamientos)

$SCE$  tiene  $n - k$  grados de libertad (existen  $n$  datos y  $k$  tratamientos)

$SCT$  tiene  $n - 1$  grados de libertad (suma de grados de libertad de  $SCTr$  y  $SCE$ )

Si cada uno se divide por el número de grados de libertad se obtienen los **cuadrados medios**.

Todos estos resultados se los ordena en un cuadro denominado **tabla de análisis de varianza**.

**Tabla 31**

*ANOVA (Análisis de Varianza)*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b><math>F_0</math></b>
Tratamiento	$k - 1$	$SCTr$	$SCTr/(k - 1)$	$(SCTr/(k - 1))/(SCE/(n - k))$
Error	$n - k$	$SCE$	$SCE/(n - k)$	
Total	$n - 1$	$SCT$		

*Nota.* Tomado de SSPS 22.0.

El último cociente es el valor de una variable que tiene distribución F. Este estadístico se usa para la prueba de hipótesis.

### **Prueba de Hipótesis**

- 1) **Hipótesis nula**  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$  (las medias poblacionales son iguales)
- 2) Hipótesis alterna  $H_a: \mu_i \neq \mu_j$  (al menos dos medias son iguales)
- 3) Definir el nivel de significancia de la prueba  $\alpha$
- 4) Elegir el estadístico de prueba: Distribución F con  $v_1 = k - 1$ ,  $v_2 = n - k$  g.l.  
Definir la región de rechazo de  $H_0$ .
- 5) Calcular  $F_0$
- 6) Decidir

### Análisis de Varianza del Modelo de Regresión Lineal

Otro enfoque para analizar la significancia del modelo es descomponer la variabilidad observada, y a partir de ello probar la hipótesis. Efectivamente, la variabilidad total observada en la variable de respuesta puede ser medida a través de  $S_{yy}$ , que está dada por la ecuación (1), pero también se puede descomponer de la siguiente manera:

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

El primer componente de  $S_{yy}$  se denota por  $SC_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$  y mide la variabilidad explicada por la recta de regresión (modelo de regresión), y se le conoce como la *suma de cuadrado de regresión*. Mientras, que el segundo componente de  $S_{yy}$ , corresponde a la suma de cuadrados del error,  $SC_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ , y mide la variabilidad no explicada por la recta de regresión (modelo de regresión). De esta manera, la ecuación (1) toma la siguiente forma:

$$S_{yy} = SC_R + SC_E \quad (2)$$

Los grados de libertad para  $S_{yy}$  son  $n - 1$ ,  $SC_R$  tiene un grado de libertad y  $SC_E$  tiene  $n - 2$ . Al dividir las sumas de cuadrados entre sus grados de libertad obtenemos los cuadrados medios:

$CM_E = SC_E/(n - 2)$  y  $CM_R = SC_R/1$ . Utilizando la ecuación (2), se obtiene la fórmula para calcular  $SC_R$  está dada por:

$$SC_R = \hat{\beta}_1 S_{xy} \quad (3)$$

Todo lo anterior podemos utilizarlo para generar otra forma de probar la hipótesis sobre la significancia de la regresión:

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_1 &= 0 \\ H_A : \beta_1 &\neq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ya que si  $H_0$  es verdadera, entonces el siguiente estadístico:

$$F_0 = \frac{SC_R/1}{SC_E/(n-2)} = \frac{CM_R}{CM_E} \quad (5)$$

Tiene una distribución F con 1 y  $n - 2$  grados de libertad en el numerador y denominador, respectivamente. Por lo tanto, se rechaza  $H_0 : \beta_1 = 0$ , si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico correspondiente, es decir, se rechaza  $H_0$  si  $F_0 > F_{(\alpha, 1, n-2)}$ .

Esta forma de probar la significancia de la regresión, en el caso de la regresión lineal simple.

$$t_0^2 = \frac{\hat{\beta}_1^2 S_{xx}}{CM_E} = \frac{\bar{\beta}_1 S_{xy}}{CM_E} = \frac{CM_R}{CM_E} = F_0 \quad (6)$$

Esto se debe a que, en general, el cuadrado de una variable aleatoria *t-Student* con *k* grados de libertad, tiene una distribución  $F_{(1, k)}$ .

El análisis de varianza para probar la significancia del modelo de regresión se resume en la Tabla

**Tabla 32**

*Análisis de Varianza para el Modelo de Regresión Lineal*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	$F_0$	Valor- <i>p</i>
Regresión	1	$SC_R = \hat{\beta}_1 S_{xy}$	$CM_R$	$CM_R/CM_E$	$Pr(F > F_0)$
Error o residual	$n - 2$	$SCE = S_{yy} - \hat{\beta}_1 S_{xy}$	$CM_E$		
Total	$n - 1$	$S_{yy}$			

*Nota.* Tomado de Pullido (2008).

**Tabla 33***Datos para el cálculo del análisis de varianza*

Relación s/S	Tiempo	Relación s/S – Tiempo	Rendimiento
1	1	1	2,75
0	1	0	3,33
-1	1	-1	3,96
1	0	0	1,91
0	0	0	2,07
-1	0	0	2,68
1	-1	-1	2,06
0	-1	0	2,27
-1	-1	1	2,53
1	1	1	2,78
0	1	0	3,37
-1	1	-1	3,99
1	0	0	1,94
0	0	0	2,11
-1	0	0	2,72
1	-1	-1	1,97
0	-1	0	2,24
-1	-1	1	2,56

*Nota.* Tomado de SSPS 22.0.

**Tabla 34***Factores Inter-sujetos*

		N
Relación s/S	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6
Tiempo	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6

*Nota.* Tomado de SSPS 22.0.

La Tabla muestra los factores Inter-sujetos de la relación s/S y el tiempo con 6 datos experimentales para cada variable respectiva.

**Tabla 35***Pruebas de efectos inter-sujetos*

Variable dependiente: Concentración\_clorofila

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	7,330 <sup>a</sup>	8	,916	947,838	,000
Interceptación	123,979	1	123,979	128253,885	,000
Relación_S	2,140	2	1,070	1107,006	,000
Tiempo	4,917	2	2,458	2543,247	,000
Relación_S * Tiempo	,273	4	,068	70,549	,000
Error	,009	9	,001		
Total	131,317	18			
Total corregido	7,339	17			

a. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,998)

*Nota.* Tomado de SSPS 22.0.

Podemos observar en la Tabla III-16 que las variables Relación s/S, Tiempo y la interacción Relación s/S\*Tiempo tienen un valor de  $Sig = 0.000$  que es inferior al 0.05, por lo que se puede afirmar que estas variables tienen una influencia significativa sobre el porcentaje de extracto de clorofila.

### **3.10 Análisis del producto obtenido**

Los parámetros fisicoquímicos determinados para el producto final, fueron analizados

en las instalaciones del laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*

Los análisis realizados al extracto de clorofila proveniente de la comunidad Calamuchita, fueron los siguientes parámetros:

- Determinación de Calcio
- Determinación de Cobre
- Determinación de Hierro
- Determinación de Magnesio
- Determinación de Manganese
- Determinación de Potasio
- Determinación de Sodio
- Determinación de Zinc
- Determinación de Humedad

- Determinación de Cenizas

### **3.10.1 Resultados de los análisis del producto final**

Las características fisicoquímicas del extracto de clorofila obtenido a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) son las siguientes:

**Tabla 36**

*Características Fisicoquímicas de Extracto de Clorofila a partir de hojas de remolacha*

<b>Parametro</b>	<b>Unidad</b>	<b>100gr</b>
Humedad	(%)	....
Cenizas	(%)	....
Cobre	mg/g	0.6
Hierro	mg/g	7.6
Manganesso	mg/g	0.3
Zinc	mg/g	7.0
Magnesio	mg/g	66.0
Calcio	mg/g	<LDD
Sodio	mg/g	7280
Potasio	mg/g	2490

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*(Ver Anexo II)

### 3.10.2 Concentración de clorofila en extracto obtenido

En la Tabla se exponen los resultados del análisis de cuantificación de concentración de clorofila los cuales serán analizados en el siguiente capítulo en base a la información bibliográfica que se dispone.

**Tabla 37**

*Cuantificación de concentración de clorofila en extracto obtenido*

Cod. Muestra	Mg Chlo/g de muestra
M2h 1:4	3.98
M2h 1:3	3.35
M2h 1:2	2.77
M3h 1:4	2.70
M3h 1:3	2.08
M3h 1:2	1.93
M4h 1:4	2.55
M4h 1:3	2.25
M4h 1:2	2.01
MET	2.51

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz* (Ver Anexo III)

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1 Resultados de los análisis de las hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*).

Los resultados de los análisis fisicoquímicos, composición nutricional, concentración de clorofila realizados a la materia prima, son comparados parámetros a parámetros con datos bibliográficos que se disponen.

**Tabla 38**

*Composición Nutricional y análisis físico-químico en hoja de remolacha*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Calcio	mg/100g	183.0
Ceniza	%	2.65
Cobre	mg/100g	0.17
Fibra	%	1.60
Fósforo	mg/100g	21.03
Grasa	%	0.96
Hidratos de carbono	%	0.39
Hierro	mg/100g	2.4
Humedad	%	89.51
Magnesio	mg/100g	114.0
Manganese	mg/100g	2.6
Materia seca	%	10.49
potasio	mg/100g	333
Proteína total	%	4.89
Sodio	g/100g	596.0
Valor energético	Kcal/100g	29.76
Zinc	mg/100g	1.20

N Centro de análisis, investigación y desarrollo “CEANID” (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISael SARACHO) (Ver Anexo II)

En la Tabla se observa que la humedad de la materia prima es elevada, por lo tanto,Cual se necesitó una etapa de secado previa a la extracción para eliminar la humedad de las hojas y así trabajar con hojas secas para que al momento de concentrar nuestro extracto no tenga ninguna rección las enzimas con el agua y sea perjudicial al momento de la concentración.

**Tabla 39**

*Cuantificación de clorofila en hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*)*

Cod. Muestra	mg Chlo/g de muestra
Ext. Total de Chlo	4.02

**Especificación:** Chlo : Clorofila

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.* (Ver Anexos II)

También se hizo experimentalmente una extracción total en una duración de 8 horas donde se aprecia la extracción total del pigmento y se llevó a realizar un análisis de concentración de clorofila para lo cual se muestra en la siguiente Tabla

**Tabla 40**

*Obtención de extracto de clorofila hasta quitar el pigmento por completo de las hojas*

Cod. Muestra	mg Chlo/g de muestra
MET	2.51

**Especificación:** Chlo : Clorofila, MET: Extracto total en 7 horas de obtención.

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*  
(Ver Anexos II)

En la **Tabla 40** se ve el dato obtenido en el laboratorio de cromatografía que nos da una concentración de 2.51 mg Chlo/g de clorofila este dato comparando con la **Tabla 41** se ve una concentración baja de clorofila resaltando que esta muestra se realizó en un tiempo de 7 horas de extracción , cabe mencionar que esto se debe a que la hojas de remolacha en la extracción de clorofila a más tiempo se van obteniendo otras sustancias presentes en la misma hoja para lo cual reduce su concentración de clorofila.

**4.1.1 Comparación de Materia Prima Hojas de Remolacha Roja (*Beta Vulgaris L.*)**

**Tabla 41**

*Comparación de Materia Prima*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO “EXPERIMENTAL”</b>	<b>RESULTADOS “BIBLIOGRÁFICOS”</b>
Calcio	183.0 mg/100g	2.56 %
Ceniza	2.65 %	23.79 %
Cobre	0.17 mg/100g	15.3 mg/Kg
Fósforo	21.03 mg/100g	0.5 %
Hierro	2.4 mg/100g	1256.4 mg/Kg
Humedad	89.51 %	88.4 %
Magnesio	114.0 mg/100g	490.9 %
Manganese	2.6 mg/100g	1.07 mg/Kg
Materia seca	10.49%	18.25 %
Potasio	333 mg/100g	3.17 %
Sodio	596.0 mg/100g	15.209 mg/Kg
Zinc	1.20 mg/100g	0.36 mg/Kg

*Nota.* Tomado del Laboratorio AGQ PERÚ SAC - Centro de análisis, investigación y desarrollo “CEANID” (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO)

**Tabla 42**

*Comparación de concentración de clorofila en algunas hojas comparando con las hojas de remolacha usadas en el proyecto*

<b>Bibliografía</b>		<b>Experimental</b>	
<b>Hojas</b>	<b>Concentración de clorofila Total mg /g</b>	<b>Hojas</b>	<b>Concentración de clorofila mg Chlo/g de muestra</b>
Chaya	0.00922	Hojas de Remolacha	4.02
Chipilín	0.01272		
Perejil	0.00435		
Albahaca	0.00278		
Cilantro	0.0053		
Epazote	0.0062		
Cebollín	0.00155		
Oreganon	0.00124		
Momo	0.01132		
Hierba buena	0.00318		

*Nota.* Tomado de Ruiz (2019)

En la Tabla 42 se puede apreciar que en las hojas de remolacha (*Beta Vulgaris L.*) producidas en la comunidad de Calamuchita del departamento de Tarija presentan una concentración de 4.02 mg/g mucho más elevada ( ver anexo II) que otras hojas registradas bibliográficamente determinadas mediante método espectrofotométrico se realizaron en un espectrofotómetro de haz simple SP600 OrbecoHellige de 300 a 900 nm de longitud de onda. por lo cual es muy importante resaltar ya que de las mismas hojas se toma para el estudio de este proyecto.

## 4.2 Resultados de los análisis de extracto de clorofila

Las características fisicoquímicas del extracto de clorofila obtenido en la parte experimental del presente proyecto de investigación y las que se encuentran como referencia bibliográfica, se comparan a continuación en la Tabla 43.

**Tabla 43**

*Comparación Extracto de Clorofila*

PARÁMETRO	RESULTADO “EXPERIMENTAL”	RESULTADOS “BIBLIOGRÁFICOS”
Humedad	.... (%)	.... (%)
Cenizas	....(%)	....(%)
Cobre	0.6(mg/ 100g)	0.00005435 (mg/g)
Hierro	7.6 (mg/100g)	0.0000332(mg/g)
Manganoso	0.3 (mg/100g)	0.00000083(mg/g)
Zinc	7.0(mg/100g)	0.00132(mg/g)
Magnesio	66.0 (mg/100g)	0.00531(mg/g)
Calcio	0.2(mg/L)	0.7380(mg/L)
Sodio	7280 (mg/100g)	0.137(mg/g)
Potasio	2490 (mg/100g)	0.1598(mg/g)

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*.

Al comparar los datos bibliográficos con los obtenidos experimentalmente, se puede

apreciar que las características fisicoquímicas del extracto de clorofila obtenido mediante extracción por solvente (Etanol) a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*), tales como Humedad, Cenizas, encuentran dentro del rango que debe cumplir el extracto de clorofila comparada con la tesis **“CONDICIONES FAVORABLES PARA LA OBTENCIÓN DE CLOROFILA A PARTIR DE LAS HOJAS DE REMOLACHA (*Beta Vulgaris L.*) MEDIANTE EQUIPO SOXHLET MODIFICADO”**. Así mismo, los nutrientes como ser: Cobre, Hierro, Manganese, Zinc, Magnesio, Calcio, Sodio, Potasio se encuentran con un alto nivel nutricional, mucho más que los bibliográficos lo cual se encuentra dentro del rango que debe cumplir tomando así como referencia la presente tesis (Huinch & Quiroz, 2017).

Así mismo se comprueba en los resultados Físico-Químico y nutricional realizado al extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha en la Tabla 43 se observa un alto contenido de nutrientes.

**Tabla 44***Cuantificación de concentración de clorofila en extracto obtenido*

<b>Cod. Muestra</b>	<b>mg Chlo/g de muestra</b>
M2h 1:4	3.98
M2h 1:3	3.35
M2h 1:2	2.77
M3h 1:4	2.70
M3h 1:3	2.08
M3h 1:2	1.93
M4h 1:4	2.55
M4h 1:3	2.25
M4h 1:2	2.01
MET	2.51

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*(Ver Anexo II)

**Tabla 45***Comparación de Extracto de Clorofila*

<b>Cod. Muestra Experimental</b>	<b>mg Chlo/g de muestra experimental</b>	<b>Cod. Muestra. Bibliográfica</b>	<b>mg Chlo/L de muestra bibliográfica</b>
M2h 1:4	3.98	M40(min) 1:3	66.0024
M2h 1:3	3.35	M50(min) 1:3	70.3812
M2h 1:2	2.77	M60(min) 1:3	156.5688
M3h 1:4	2.70	M40(min) 1:4	172.2417
M3h 1:3	2.08	M50(min) 1:4	183.6960
M3h 1:2	1.93	M60(min) 1:4	211.0368
M4h 1:4	2.55	M40(min) 1:2	293.8068
M4h 1:3	2.25	M50(min) 1:2	404.2914
M4h 1:2	2.01	M60(min) 1:2	407.1750

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*

En la Tabla 44 se puede apreciar que las unidades de cuantificación son diferentes para lo cual se procede a una conversión de unidades para realizar la comparación con los datos bibliográficos.

Ejm. De bibliografía tenemos que se obtuvo una mayor concentración de clorofila en M60(min) 1:2 nos da una concentración de 407.1750mg Chlo/L de muestra hacemos la conversión

$$407.1750 \text{ mg Chlo} \times \frac{1L}{33.81462 \text{ g}} \times \frac{1oz}{28.35 \text{ g}} = 0.4247 \text{ mg Chlo/g de muestra}$$

Para lo cual comparando con los datos experimentales realizados en el proyecto en el que se obtiene una mayor concentración de clorofila en M2h 1:4 con 3.98 mg

Chlo /g y se aprecia que con las hojas de remolacha producidas en nuestro departamento se obtiene una cantidad considerable frente a los datos bibliográficos.

**Tabla 46**

*Comparación de concentración de clorofila en hojas frente a concentración de clorofila en extracto obtenido*

<b>Concentración de clorofila en hojas de remolacha utilizadas en el proyecto</b>		<b>Concentración de clorofila en extracto obtenido</b>	
Ext. Total de Chlo	4.02 mg/g	Ext. Obtenido M2h 1:4	3.98 mg/g

**Especificación: Chlo :** Clorofila, M2h 1:4 : muestra obtenida en 2 horas en una relación soluto/solvente 1:4

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*

(Ver Anexos II)

Según la comparación de la Tablas IV-8 se ve que no se obtiene el 100 % de concentración de clorofila en el extracto comparando con las hojas frescas , esto se debe a su proceso de obtención, logrando así llegar a una obtención de más del 90% con la extracción por solvente etanol con el extractor soxhlet.

Aplicamos la misma metodología para todas las experimentaciones y así realizar una comparación de datos que se muestran a continuación en Tabla 47.

**Tabla 47***Cuantificación de Extracto de Clorofila experimental y bibliográfica*

<b>Cod. Muestra experimental</b>	<b>mg Chlo/g de muestra experimental</b>	<b>Cod. Muestra. Bibliográfica</b>	<b>mg Chlo/g de muestra bibliográfica</b>
M2h 1:4	3.98	M40(min) 1:3	0.0688
M2h 1:3	3.35	M50(min) 1:3	0.0734
M2h 1:2	2.77	M60(min) 1:3	0.1633
M3h 1:4	2.70	M40(min) 1:4	0.1796
M3h 1:3	2.08	M50(min) 1:4	0.1916
M3h 1:2	1.93	M60(min) 1:4	0.2201
M4h 1:4	2.55	M40(min) 1:2	0.3064
M4h 1:3	2.25	M50(min) 1:2	0.4217
M4h 1:2	2.01	M60(min) 1:2	0.4216

*Nota.* Tomado del Laboratorio de la carrera Química, facultad de ciencias puras y naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz.*

Al comparar los datos bibliográficos con los obtenidos experimentalmente, se puede apreciar que las características en cuantificación de concentración del extracto de clorofila obtenido mediante extracción por solvente (Etanol) a partir de hojas de remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) se ve que los datos obtenidos experimentalmente son mucho más elevados que los bibliográficos esto puede ser a causa del punto de ebullición del solvente ya que a altas temperaturas la clorofila se degrada por lo cual sería una de las razones.

Podemos apreciar también que experimentalmente se tiene una mayor concentración de clorofila en 2 horas con una relación soluto/solvente de 1:4 (50/200)

en el que tiene una concentración de 3.98 mg Chlo/g de muestra en cambio bibliográficamente se obtiene una mayor concentración de clorofila en un tiempo de 60 min con una relación soluto/solvente 1:2 (50/100) 0.4216 mg Chlo/g de muestra para lo cual los resultados obtenidos experimentalmente se encuentran dentro del rango que debe cumplir.

#### 4.3 Influencia de los parámetros sobre la concentración

**Tabla 48**

*Datos experimentales de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja*

Nº	Factores		Respuesta I	Respuesta II		
	Relación Masa/Volumen	tiempo de extracción (h)	Concentración Clorofila	Concentración Clorofila	Promedio	DS
			(g)	(g)		
1	A(50,00/100)	2	2,75	2,78	2,77	0,02
2	B(50,00/150)	2	3,33	3,37	3,35	0,03
3	<b>C(50,00/200)</b>	<b>2</b>	<b>3,96</b>	<b>3,99</b>	<b>3,98</b>	<b>0,02</b>
4	A(50,00/100)	3	1,91	1,94	1,93	0,02
5	B(50,00/150)	3	2,07	2,11	2,08	0,02
6	C(50,00/200)	3	2,68	2,72	2,70	0,03
7	A(50,00/100)	4	2,06	1,97	2,01	0,07
8	B(50,00/150)	4	2,27	2,24	2,25	0,02
9	C(50,00/200)	4	2,53	2,56	2,55	0,02

La Tabla 48 vista en el capítulo anterior indica los resultados experimentales obtenidos en el proceso de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de

remolacha roja (*Beta Vulgaris L.*) , donde se observa con respecto a la concentración de extracto de clorofila, se obtuvo mayor concentración de extracto del 3.98 mg/g , utilizando las variables 50.00/200 ; 2 h (sóluto/solvente, tiempo de extracción).

#### **4.3.1 *Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción***

Con los datos experimentales de la Tabla 48 se construyó el gráfico IV-1, utilizando los datos obtenidos en las extracciones con la relación sóluto/solvente (C), con la cual se obtuvo mejor concentración de extracto de clorofila.

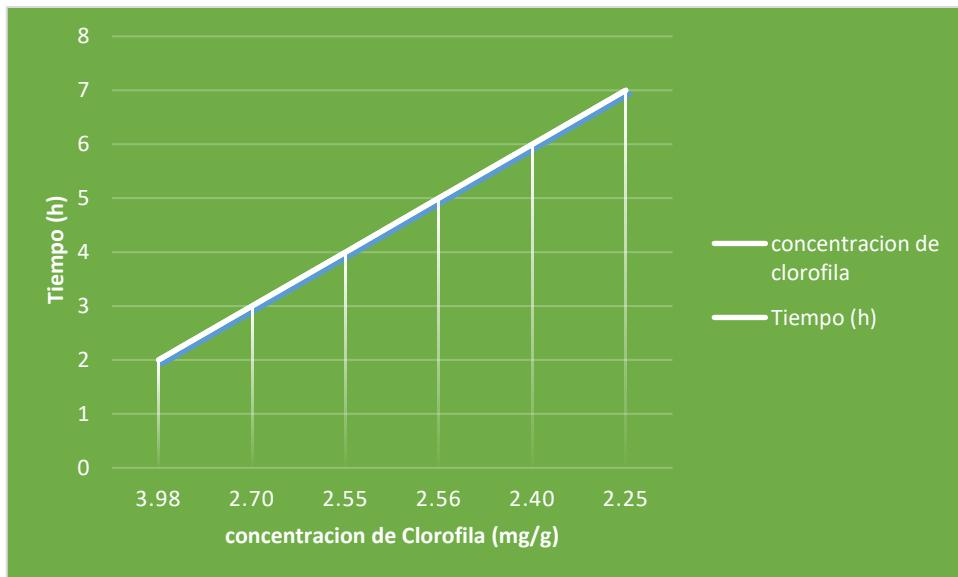
**Tabla 49**

*Datos experimentales del proceso de obtención de Extracto de Clorofila*

<b>Nº de Exp.</b>	<b>Relación s/S (g/ml)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Extracto de clorofila (mg/g)</b>
3	50 / 200	2	3.98
6	50 / 200	3	2.70
9	50 / 200	4	2.55
12	50 / 200	5	2.56
15	50 / 200	6	2.40
18	50 / 200	7	2.25

### Gráfico 3

*Concentración de Extracto de Clorofila utilizando la relación soluto/solvente*



Para seleccionar las condiciones de operación óptimas para el proceso, previamente se realizó una extracción durante 7 horas, con el objetivo de conocer si el aumento en el tiempo es considerable para la concentración de clorofila.

Así, se observa que los porcentajes más altos de extractos obtenidos, son hasta las 4 horas de extracción. Haciendo un análisis a la concentración de extracto de clorofila según Tabla IV-12 se puede evidenciar que en un tiempo de 2 horas con relación soluto / solvente de 1:4 (50/200) existe mayor concentración de extracto de clorofila 3.98 mg Chlo/g de muestra mientras que en un tiempo de 4 horas con relación soluto / solvente de 1:4 (50/200) nos da mayor cantidad de concentración pero menor cantidad de clorofila esto se debe a que a mayor tiempo de extracción va extrayendo otras sustancias que se encuentran presentes en la materia prima, lo cual hace que

disminuya la concentración de clorofila. Así mismo se hizo una extracción total de clorofila en la cual se extrajo el pigmento total de las hojas para luego analizar la cantidad total de clorofila, dándonos como resultado una concentración 2.51 mg Chlo/g de muestra utilizando la relación soluto/ solvente 1:4 (50/200) en un tiempo de extracción de 7 horas y siendo la más baja comparando con las extracciones experimentales del diseño factorial, y por esa razón afirmamos que a mayor tiempo de extracción las cantidades de concentración de clorofila disminuyen.

**Tabla 50**

*Condiciones de operación recomendada para el proceso de obtención de extracto de clorofila*

Relación s/S (g/ml)	Tiempo (h)	Temperatura de extracción (°C)
50/200	2	71.0

#### 4.4 Análisis de Costos

##### 4.4.1 Costo del Estudio

Para determinar el presupuesto de investigación se realiza la evaluación de costos directos, que se realizan durante la elaboración de todo el proyecto. Las siguientes tablas muestran los detalles de los costos indirectos.

**Tabla 51***Detalle de costos de Materia Prima y Solventes*

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Materia prima	Hojas de remolacha	Kg	22	20	20
Solvente	Etanol	L	4	9.50	38

**Tabla 52***Detalle de Costos de Materiales*

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Papel filtro	tradicional	pliegue	9	5,00	45,00
Botellas de vidrio ambar	30 ml	pza	18	5,00	90,00
Bolsas de polietileno	25x20 mm	pza	15	2	30.00
	<b>Subtotal(b)</b>				<b>165.00</b>

**Tabla 53***Detalle de Costos de Análisis*

Descripción	Parámetros	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Hojas de remolacha	Materia seca	1	40.00	40.00
	Humedad	1	84.00	84.00
	Ceniza	1	70.00	70.00
	Fibra	1	84.00	84.00
	Grasa	1	84.00	84.00
	Proteína total	1	84.00	84.00
	Calcio	1	180.00	180.00
	Cobre	1	180.00	180.00
	Fósforo	1	90.00	90.00
	Hidratos de Carbono	1	84.00	84.00
	Hierro	1	180.00	180.00
	Magnesio	1	180.00	180.00
	Manganeso	1	180.00	180.00
	Potasio	1	180.00	180.00
	Sodio	1	180.00	180.00
	Zinc	1	180.00	180.00
	Valor energético	1	84.00	84.00
	Humedad	1	30.00	30.00

Descripción	Parámetros	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Extracto de clorofila	Cenizas	1	40.00	40.00
	Calcio	1	40.00	40.00
	Hierro	1	40.00	40.00
	Cobre	1	40.00	40.00
	Magnesio	1	40.00	40.00
	Manganese	1	40.00	40.00
	Potasio	1	40.00	40.00
	Sodio	1	40.00	40.00
	Zinc	1	40.00	40.00
	Cuantificación de clorofila	10	130	1300.00
	Cuantificación de clorofila en hojas frescas	1	130	270
<b>Subtotal(c)</b>				<b>4104.00</b>

**Tabla 54***Detalle de Costos Material de Apoyo*

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Internet	meses	6	160,00	960,00
Mano de Obra	meses	6	1.000,00	6.000,00
Pasajes	meses	6	250,00	1500,00
Papel	resma	2	30,00	60,00
Tinta	ml	200	1,00	200,00
Anillado	-	4	5,00	20,00
Empastado	-	3	50,00	150,00
<b>Subtotal(d)</b>				<b>8.890,00</b>

**Tabla 55***Detalle de Costos Totales*

Descripción		Costo total (Bs)
a)	Detalle de costos de materia prima, y solventes	58.00
b)	Detalle de costos de materiales.	165.00
c)	Detalle de costos de análisis.	4.104,00
d)	Detalle de costos material de apoyo.	8.890,00
e)	Imprevistos= 0,1 del total de costos en el detalle.	1.292,7
<b>Total</b>		<b>14.509,7</b>

El costo total de la investigación es 14.509,7 Bs.

#### 4.4.2 Costo de Producción

A partir de los balances de materia y energía puede estimarse el costo de producción para Obtención de Extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha. Los costos son; energía eléctrica 0,90 Bs/ KWh, agua 0,7 Bs/m<sup>3</sup>, el etanol 9.50 Bs/ litro . De los 50,00 g de hojas de remolacha se extraen aproximadamente 3.98 g de Extracto de clorofila en 2 horas de extracción. Las siguientes tablas estiman el costo de producción sin considerar el salario del operador. En la Tabla 51 se observa el costo de funcionamiento de los equipos considerando que se obtiene mayor concentración de clorofila en un tiempo de 2 horas.

**Tabla 56**

*Costo de Funcionamiento de los Equipos*

Proceso	Requerimiento energético				
	Potencia (kw)	Tiempo (hr)	Energia (kwh)	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Extractor soxhlet (Extraccion)	0.53	2	1.06	0,90	0.95
Rota-vapor (Destilacion)	0.4	1.5	0.6	0,90	0.54
Estufa (Desolvetizacion de extraxcto de clorofila)	1.4	1.09	1.526	0.90	1.37
Total					<b>2.86 Bs</b>

**Tabla 57***Costo de Material*

<b>Solventes y materia prima</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario (Bs)</b>	<b>Costo Total(Bs)</b>
Etanol	200	Mililitros	9.50	1.90
Hojas de remolacha	50	gramos	0.0091	0.045
<b>Gastos Extras</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Unitario (Bs)</b>	<b>Costo Total(Bs)</b>
Botella de vidrio ambar para presentación	1	Unidades	5,0	5,0
Gasto Energético				<b>2.867</b>
<b>Total</b>				<b>9.8</b>

El costo total de producción aproximado es de 10,0 Bs para la producción de Extracto de Clorofila a partir de hojas de remolacha “Que contiene 3.98 mg/g de clorofila” concentrada, partiendo de 50,00 g de hojas secas de remolacha, con 200 ml de etanol. Si se considera el factor de seguridad 1,5, el costo de producción es: 15,00 Bs por cada 3.98 mg/g de Extracto de clorofila, saliendo así 3.77 Bs el gramo de extracto.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

- Los parámetros fisicoquímicos más importantes analizados por el laboratorio del CEANID de las hojas de remolacha son Humedad (89.51%).

Y así también la concentración de clorofila en hojas de remolacha realizada en el Laboratorio de la carrera Química, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*. (Ver Anexos II)

### Tabla 58

*Concentración de clorofila en hojas de remolacha*

Cod. Muestra	mg Chlo/g de muestra
Ext. Total de Chlo	4.02

**Especificación: Chlo : Clorofila**

- El método de extracción seleccionado según una matriz de decisión es sólido- líquido, considerando un mejor rendimiento, menor costo y una menor complejidad del método a diferencia de otros, como el de extracción con equipo soxhlet.
- El solvente escogido es etanol al 96%, con el objetivo de que el producto sea compatible para el uso humano y económico.
- Las Clorofilas al igual que otros extractos naturales tienden a ser inestables frente a una variedad de factores, como la temperatura, la luz, el estado de la materia prima y otros.
- En el presente estudio se toma en cuenta el análisis de dos factores con tres niveles

como variables independientes, formulando un diseño de  $3^2$ . Los factores estudiados en sus respectivos niveles son:

relación soluto: solvente (1:2, 1:3 y 1:4) g/ml y tiempo de extracción (2,3,4) horas.

- Concluida la parte experimental y según nuestro diseño factorial nuestra variable respuesta es la concentración de clorofila obtenida la cual nos da los siguientes valores: Relación soluto/solvente:  $(50.00/200)$ g/ml

Tiempo de extracción: 2Horas

Dándonos una concentración de del 3.98mg/g

- Los parámetros fisicoquímicos y composición nutricional analizados en el Laboratorio de la carrera Química, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la *Universidad Mayor de San Andrés en el departamento de La Paz*. Los más importantes del producto obtenido Extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha son: Humedad (0%), cenizas (0%), y su valor nutricional se redujo un 50% durante la extracción. Así también se realizó un análisis de cuantificación y concentración de clorofila.
- Los resultados de extracto obtenido se muestran en la siguiente Tabla donde evidenciamos los tiempos más importantes de obtención de clorofila.

**Tabla 59**

*Resultados de extracto*

<b>Cod. Muestra</b>	<b>mg Chlo/g de muestra</b>
M2h 1:4	3.98
M4h 1:4	2.55

En la cual cabe resaltar que en una relación s/S 1:4 (50/200)g/ml y un tiempo de extracción de 2 horas se obtienen mayor concentración de extracto de clorofila de 3.98 mg Chlo/g de muestra

Mientras que en una relación de s/S 1:4 (50/200) g/ml y un tiempo de extracción de 4 horas se obtiene menor concentraciones de clorofila de 2.55 mg Chlo/g de muestra.

En el que podemos decir que a mayor tiempo de extracción , disminuye la concentración de clorofila esto debido a que las hojas de remolacha están compuestas por otras sustancias provenientes de las mismas.

- Se determina las condiciones más óptimas para la Obtención de Extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha: tiempo de extracción 2 h y relación soluto: solvente 1:4(50/200) g/ml g/ml.

- Según el balance de materia y energía, el costo aproximativo de producción para 3.98mg/g de extracto es de 10.00 Bs, considerando los gastos de energía y materia.
- A partir de 50.00 g de hojas de remolacha seleccionadas y previamente secas en un tiempo de 2 horas se obtiene 3.98 mg/g extracto de clorofila .

Según el análisis estadístico, Podemos observar en la Tabla III-16 que las variables Relación s/S, Tiempo y la interacción Relación s/S\*Tiempo tienen un valor de Sig = 0.000 que es inferior al 0.05, por lo que se puede afirmar que estas variables tienen una influencia significativa sobre el porcentaje de extracto de clorofila.

## 5.2 Recomendaciones

- Los resultados obtenidos en base al rendimiento y las características fisicoquímicas del producto, incentivan a recomendar un estudio más detallado acerca del contenido de

Clorofila en otras variedades de hortalizas existentes en el país. Así también, del proceso de extracción, para evaluar parámetros como la relación soluto/solvente, tiempo y temperatura de extracción, en las condiciones que se trabaja en la industria.

- Las Clorofillas como colorante natural, al ser liposoluble tiene ventaja de formar parte de productos como jugos, dulces, para enriquecer y dar valores agregados a dichos productos. Así también estudiar la calidad y uso apropiado en los alimentos.
- Se recomienda no reutilizar el solvente (etanol) debido a que el rendimiento del producto extraído baja considerablemente.
- Se recomienda el uso de solventes no tóxicos en la etapa de extracción, debido a que, si se desea incluir las Clorofillas en matrices alimenticias, es vital que no sean tóxicas, pues cualquier remanente tóxico puede afectar la calidad de vida del ser humano.