

**EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDES A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL
TOMATE DE ÁRBOL**

**LAURA VANESSA HERRERA RODRÍGUEZ
CATALINA ESTUPIÑÁN GUTIÉRREZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
David Leonardo Sotelo Tobón
Docente de planta de Ingeniería química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2022**

NOTA DE ACEPTACIÓN

David Leonardo Sotelo Tobón
Firma del Director

Nombre
Firma del Presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, D.C febrero 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Concejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decana Facultad de Ingeniería

DRA. NALINY GUERRA PRIETO

Directora Programa Ingeniería Química

Dra. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	14
1.MARCO REFERENCIAL	15
1.1 Materia prima	15
<i>1.1.1 Tomate de árbol</i>	15
<i>1.1.2 Residuos orgánicos</i>	19
1.2 Antioxidantes	20
<i>1.2.1 Polifenoles</i>	20
<i>1.2.2 Vitamina E</i>	23
<i>1.2.3 Catequinas</i>	23
<i>1.2.4 Fitoestrógenos</i>	24
1.3 Propiedades fisicoquímicas	25
<i>1.3.1 Sólidos solubles totales</i>	25
<i>1.3.2 Método CIElab</i>	26
1.4 Métodos de extracción	26
<i>1.4.1 Extracción con fluidos supercríticos</i>	26
<i>1.4.2 Extracción con solventes</i>	26
1.5 Detección, determinación y cuantificación de flavonoides	27
<i>1.5.1 Ensayo de Shinoda</i>	27
<i>1.5.2 Método de Folin Ciocalteu</i>	27
<i>1.5.3 Ensayo DPPH</i>	28
<i>1.5.4 Ensayo ABTS</i>	28
2. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN	29
2.1. Técnicas de extracción de flavonoides	29

2.1.1 <i>Extracción Soxhlet</i>	29
2.1.2 <i>Extracción mediante fluidos supercríticos</i>	30
2.2 Comparación y selección de los métodos	32
2.2.1 <i>Factores para la selección del método de extracción</i>	32
2.2.2 <i>Selección de solventes</i>	34
2.2.3 <i>Factores evaluados para la selección del método de extracción y factores evaluados para la selección solvente</i>	38
2.3 Preparación de la muestra para el proceso de extracción	40
2.3.1 <i>Adecuación de la muestra</i>	40
2.4 Extracción de flavonoides a partir del método Soxhlet	43
2.4.1 <i>Metodología</i>	44
2.4.2 <i>Condiciones de extracción Soxhlet reportada</i>	45
2.5 Extracción de flavonoides a partir del método de fluidos supercríticos	46
2.5.1 <i>Metodología</i>	47
2.5.2 <i>Condiciones de extracción EFS reportada</i>	48
2.6 Determinación de la capacidad antioxidante	48
2.7 Uso potencial de los extractos obtenidos	52
3. DISEÑO CONCEPTUAL	54
3.1 Diagrama de bloques	54
3.1.1 <i>Especificaciones del proceso</i>	56
3.2 Balance de materia	58
3.2.1 <i>Balance de masa para extracción de flavonoides</i>	58
3.3 Diagrama de Gantt	67
3.4 Selección de equipos	69
3.4.1 <i>Proceso de lavado</i>	69
3.4.2 <i>Proceso de secado</i>	70
3.4.3 <i>Proceso de molienda</i>	72

<i>3.4.4 Proceso de filtrado</i>	73
<i>3.4.5 Proceso de extracción</i>	74
<i>3.4.6 Proceso de destilación</i>	76
<i>3.4.7 Proceso de secado 2</i>	77
<i>3.4.8 Proceso de mezclado para la producción de sérum facial</i>	79
3.5 Análisis de costos por proceso	80
<i>3.5.1 Costos del proceso de extracción de flavonoides</i>	82
<i>3.5.2 Costos del proceso de sérum facial</i>	83
4. CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tomate de árbol	15
Figura 2. Producción de tomate de árbol por departamentos en Colombia en el 2020	16
Figura 3. Estructuras químicas representativas de las distintas clases de polifenoles de la dieta	21
Figura 4. Flavonoides	22
Figura 5. Catequina	24
Figura 6. Fitoestrógenos	25
Figura 7. Diagrama de fases y punto triple	30
Figura 8. Diagrama de Preparación de la muestra	42
Figura 9. Diagrama de la metodología del proceso de extracción por Soxhlet	44
Figura 10. Diagrama de la metodología del proceso de extracción mediante fluidos supercríticos	47
Figura 11. Diagrama de bloques para el proceso de extracción de flavonoides	55
Figura 12. Diagrama de bloques para el proceso de elaboración de sérum facial	55
Figura 13. Balance global de materia del proceso de extracción de flavonoides	58
Figura 14. Balance global de materia del proceso de lavado	58
Figura 15. Balance global de materia del proceso de secado	59
Figura 16. Balance global de materia del proceso de molienda	59
Figura 17. Balance global de materia del proceso de tamizado	60
Figura 18. Balance global de materia del proceso de extracción Soxhlet	60
Figura 19. Balance global de materia del proceso de destilación	61
Figura 20. Balance global de materia del proceso de secado final	62
Figura 21. Balance global de materia del proceso de mezclado de etanol	62
Figura 22. Balance global de materia del proceso de mezclado 1	64
Figura 23. Balance global de materia del proceso de mezclado 2	64
Figura 24. Balance global de materia del proceso de mezclado 3	65

Figura 25. Balance global de materia del proceso de mezclado 4	66
Figura 26. Diagrama de Gantt para el proceso de extracción de flavonoides a partir de residuos de cascara del tomate de árbol	69
Figura 27. lavadora de vegetales Ref. 10064-2	69
Figura 28. Horno deshidratador de frutas 15 bandejas	71
Figura 29. Molino WKS-FG-100B	72
Figura 30. Tamiz vibratorio BZS-350	73
Figura 31. Extractor Soxhlet a escala industrial	75
Figura 32. Destilación por rota vapor	76
Figura 33. Evaporador YWF-20S	78
Figura 34. Tanque de mezcla de etanol	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica del tomate de árbol	17
Tabla 2. Variedades del tomate de árbol	18
Tabla 3. Composición química del tomate de árbol (contenido en 100 g)	19
Tabla 4. Propiedades supercríticas de ciertas sustancias	31
Tabla 5. Matriz de selección del método de extracción	34
Tabla 6. Factores de selección del solvente en la extracción Soxhlet	35
Tabla 7. Matriz de selección del método de extracción	37
Tabla 8. Costos de operación	38
Tabla 9. Condiciones de extracción reportadas para Soxhlet	45
Tabla 10. Condiciones de extracción reportadas para fluidos supercríticos	48
Tabla 11. Actividad antioxidante mediante el método de DPPH	49
Tabla 12 . Actividad antioxidante a través de método de ABTS	51
Tabla 13. Descripción de los componentes del sérum facial	56
Tabla 14. Balance de materia en el proceso de extracción de flavonoides	63
Tabla 15. Balance de materia para el proceso de obtención de sérum facial	66
Tabla 16. Características de la lavadora Ref. 10064-2	70
Tabla 17. Características del horno de deshidratador de frutas 15 bandejas	71
Tabla 18. Características del molino WKS-FG-100B	72
Tabla 19. Características del Tamiz vibratorio BZS-350	74
Tabla 20. Características del extractor de esencias modelo LNT-7320	75
Tabla 21. Características del rota vapor TOPTION	77
Tabla 22. Evaporador al vacío condorchem	78
Tabla 23. Tanque de almacenamiento y mezclado para etanol	80
Tabla 24. Precio de equipos en pesos colombianos	81
Tabla 25. Precio de los servicios por unidad en pesos colombianos	82

Tabla 26. Costos del servicio de agua para el proceso de extracción de flavonoides	82
Tabla 27. Costos del servicio de energía para el proceso de extracción	83
Tabla 28. Costos del servicio de energía para el proceso de sérum facial	83
Tabla 29. Costo de los componentes para la fabricación de sérum facial	83

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar y comparar dos diferentes métodos de extracción de flavonoides a partir de residuos de epicarpio del tomate de árbol, con el fin de seleccionar el método de extracción que presente condiciones óptimas de operación y costos; realizar el respectivo diseño conceptual. Para desarrollar el objetivo general, fue necesario recopilar información bibliográfica sobre flavonoides, polifenoles totales, estructura química del tomate de árbol y sus usos en la industria. También fue necesario recopilar datos sobre características fisicoquímicas, sus variedades, contenido de humedad presente en la fruta, para hallar una relación pertinente al epicarpio del mismo, permitiendo establecer las variables manipuladas en los pretratamientos previos al proceso de extracción y posterior a este.

Los métodos de extracción analizados y comparados: extracción mediante solventes (etanol) y extracción mediante fluidos súper críticos (CO_2); estos métodos de extracción que fueron evaluados se seleccionaron a través de una matriz de decisión de Pugh; con base en lo anteriormente mencionado, se realiza la selección del método de extracción mediante solventes para desarrollar un diseño conceptual de extracción de flavonoides y así mismo darle un uso potencial y un valor agregado en la industria cosmética, como antioxidante en un sérum facial.

Palabras clave: Epicarpio, Extracción con solventes, Diseño conceptual, Flavonoides, Sérum.

INTRODUCCIÓN

«La actividad frutícola en Colombia cuenta con 319,492 productores que cultivan en total 220,623 hectáreas, generando residuos agroindustriales. El foco mayor de pérdidas se da en la etapa de producción, con el 40.5% (3.95 millones toneladas), seguido por el 19.8% (1.93 millones de toneladas) que se pierde en el proceso de post cosecha y almacenamiento y el 3.5% (342 mil toneladas) en los procesos de procesamiento industrial.» [1].

Estos residuos agroindustriales no solo generan un problema ambiental sino también a nivel económico ya que se depositan junto con la basura en los vertederos o en rellenos sanitarios; además se concentran simplemente en la elaboración de abonos orgánicos, limitando la generación de un mayor valor agregado; teniendo en cuenta, estos pueden ser una fuente promisoría de extractos con diferentes potenciales de uso.

El tomate de árbol posee sustancias nutricionales y fitoquímicas que presentan actividades antioxidantes tales como: provitamina A, vitamina B6, vitamina E, ácido ascórbico, licopenos y flavonoides. De acuerdo con esto, los residuos del tomate de árbol se pueden aprovechar para la extracción de los compuestos fenólicos y ser aplicados en las industrias de alimenticias, cosméticas y farmacéuticas y así controlar la cantidad de materia orgánica que es desechada y acumulada hasta su deterioro final.

Los flavonoides presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, se ha estudiado y experimentado la obtención de estos compuestos mediante técnicas de extracción por solventes orgánicos y con técnicas más avanzadas como la extracción mediante fluidos supercríticos, esto con la finalidad de obtener un producto que puede ser utilizado como insumo en la industria y así mismo genere un valor agregado.

Este proyecto tendrá por objeto evaluar la extracción de flavonoides de los residuos de tomate de árbol mediante la revisión bibliográfica de investigaciones realizadas con solventes orgánicos, y se seleccionará el método de extracción que presente mayor rendimiento en el proceso de extracción para realizar el diseño conceptual del proceso y su respectivo análisis de costos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un diseño conceptual para la extracción de flavonoides partiendo de residuos del tomate de árbol.

Objetivos específicos

- Comparar los diferentes tipos de extracción que pueden ser empleados en la obtención de flavonoides.
- Analizar el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante presentes en el tomate de árbol.
- Establecer un diseño conceptual de extracción de flavonoides para la elaboración de un sérum facial.

1. MARCO REFERENCIAL

Con el objetivo de proporcionar una mayor claridad en el presente documento, se presentan en este capítulo los términos y métodos que se utilizan en la extracción de flavonoides.

1.1 Materia prima

1.1.1 Tomate de árbol

Según la página de gastronomía y república (2010) indica que el tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* o *Solanum betaceum*, es un fruto proveniente de los Andes peruanos y pertenece a la familia de las Solanáceas. Tiene una altura alrededor de tres metros y cuenta con tallo semileñoso.

«Las hojas son cordiformes (forma de corazón), carnosas, levemente pubescentes y muy grandes. Las flores son de color rosa y lavanda, agrupadas en racimos terminales, las cuales florecen de manera escalonada. Los frutos son solitarios o se encuentran agrupados, de colores variables, del amarillo al rojo, de forma ovoide con ápices puntiagudos, contienen muchas semillas pequeñas en cantidades de 120 a 150» [2]. La pulpa tiene diversos colores, entre amarillo y el anaranjado o el anaranjado rosáceo, una de las variedades del color del tomate de árbol se puede evidenciar en la **Figura 1**.

Figura 1.

Tomate de árbol



Nota. El tomate de árbol o tamarillo es una fruta originaria de los Andes, los principales países que lo producen son Perú, Brasil, Colombia, Chile, Bolivia y Ecuador. Tomado de: Conservación de alimentos. (septiembre 18, 2020). “TOMATE DE ÁRBOL”. [En Línea]. Disponible: <https://conservaciondealimentos.com/es/frutas/tomate-de-arbol/>

El tomate de árbol posee una forma ovalada, color rojo, naranja, amarillo o morado, tiene una piel firme, brillante y pulpa jugosa. Su sabor depende del estado de maduración. Además, se destaca por sus beneficios ya que es rico en vitaminas A, C y B que aportan hierro, magnesio, potasio y fósforo. El tomate de árbol también posee propiedades nutricionales como el 90% de agua, es rico en vitaminas A, vitamina C y algunas del tipo B (B6). Además, también aporta carbohidratos, proteínas y fibra.

Además de lo anterior, en Colombia este fruto es altamente consumido y producido en diversos departamentos, siendo Cundinamarca el departamento con la más alta producción de este como se evidencia en la **figura 2**.

Figura 2.

Producción de tomate de árbol por departamentos en Colombia en el 2020



Nota. Producción de tomate de arbol en el año 2020. Tomado de: GOV.CO (2020). “Evaluaciones Agropecuarias Municipales – EVA”. [En Línea]. Disponible: <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/data>

El presente gráfico ilustra una comparación entre la producción de tomate de árbol entre los departamentos de Colombia en el año 2020, dando como resultado la mayor producción de tomate de árbol en el departamento de Cundinamarca con una cifra de 101444.31 ton/ año, seguido del departamento de Antioquia con una producción de 86347.24 ton/año reflejando así ser los pioneros en el país.

1.1.1.a Clasificación taxonómica del tomate de árbol. En la **tabla 1** se muestra la clasificación taxonómica para el tomate de árbol, con el fin de organizar las características del mismo.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del tomate de árbol

Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum betaceum</i>
Nombre común	Tomate de Árbol

Nota. El presente cuadro permite agrupar la especie del tomate de árbol con la finalidad de facilitar el estudio de las mismas y asimismo poder organizar información acerca de las características del fruto. Tomado de: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2018). “TOMATE ÁRBOL *Solanum betaceum*”. [En Línea]. Disponible: https://www.procisur.org.uy/adjuntos/01e8c39fb854_e-arbol-PROCISUR.pdf

1.1.1.b Variedades. Conocer e identificar las variedades del tomate de árbol es un factor importante para el estudio del mismo; es por esto que en la **tabla 2** se pueden observar las diversas variedades de este fruto.

Tabla 2.

Variedades del tomate de árbol

	<p>Tomate de árbol rojo común Presenta pulpa naranja. Su corteza es de color roja y en estado madura una coloración anaranjada. Su tamaño promedio es de 5 cm de ancho y 8 cm de largo; posee un peso aproximadamente de 80 a 90 gramos.</p>
	<p>Tomate de árbol amarillo común Presenta una corteza de color amarillo o naranja, posee una pulpa de color amarillo con la presencia de 170 semillas aproximadamente. Tiene un peso aproximado de 70 gramos y sus dimensiones son 5 cm de diámetro y 7 cm de longitud.</p>
	<p>Tomate de árbol morado (injerto) El fruto presenta una corteza de color vino o rubí, su pulpa es de color naranja y posee aproximadamente 300 semillas. Presenta un diámetro de 5,2 cm y longitud de 6 cm con un peso promedio de 90 gramos.</p>

Nota. Se presentan las diversas variedades del tomate de árbol con base en el manual de tomate de árbol. Tomado de: Iniap- Estación Experimental Santa Catalina. (2004). “MANUAL GUÍA DE CAPACITACIÓN DEL CULTIVO ECOLÓGICO DE TOMATE DE ÁRBOL EN ECUADOR”. [En Línea]. Disponible:<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2753>.

Vivecol.(2020). TOMATE DE ARBOL ROJO. <https://vivecol.com.co/producto/tomate-de-arbol-rojo/>

Nuestra flora.(2021). Tomate de Árbol: Nombre: Propiedades, Beneficios, y Más. <https://nuestraflora.com/c-arboles-frutales/tomate-de-arbol/>

From nativo.(2019). Tomate de árbol morado. <https://fromnativo.com/producto/tomate-de-arbol-amarillo-comun-o-morado-500g/>

1.1.1.c Composición química del tomate de árbol. En cuanto a su composición química, este es rico en vitaminas C, A, B1, B2 y B3. En la **tabla 3** se pueden observar los parámetros reportados para la composición química del fruto.

Tabla 3.

Composición química del tomate de árbol (contenido en 100 g)

Parámetro (reportado en peso fresco)	
°brix (sólidos solubles)	10.51±1.20
pH	3.5
Acidez titulable (g/100ml)	0.20±0.00
Humedad	87.72±0.15
Proteínas	1.78±0.14
Grasa	0.16
Calorías (kcal)	30
Fibra dietaria total	4.10±0.00
Fibra dietaria insoluble	2.21±0.22
Fibra dietaria soluble	1.89±0.08
Cenizas	0.88±0.01
Carbohidratos disponibles	5.36

Nota. Se presenta los parámetros físicos y químicos en el fruto fresco del tomate de árbol en una cantidad de 100 g. Tomado de: SciELO. 2012, vol.62, n.4, pp. 381-388. ISSN 0004-0622. “Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn”. [En Línea]. Disponible: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222012000400010&script=sci_abstract

1.1.2 Residuos orgánicos

“Los residuos orgánicos, son biodegradables, se componen naturalmente y tienen la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Los residuos orgánicos se componen de restos de comida y restos vegetales de origen domiciliario”. [3]

Los residuos orgánicos se dividen en: desechos alimentarios (comida desechada y cualquier parte no comestible de un alimento), desechos de jardinería (hojas y recortes de hierba), desechos de madera (salvo escombros), cartón, productos provenientes del papel que no se

encuentren contaminados, y desechos de mascotas. Los residuos orgánicos no incluyen metales, vidrio, plástico, derivados del petróleo, textiles, pieles, estiércol y biosólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales.

1.2 Antioxidantes

Son aquellas sustancias fabricadas o de origen natural que tienen la función de prevenir algunos daños celulares causados por moléculas inestables o radicales libres. Se encuentran en frutas y verduras, así como en suplementos dietarios. (Medicalnewstoday, 2021).

Los flavonoides, catequinas, flavonas, fitoestrógenos y polifenoles son todos tipos de antioxidantes y se encuentran en frutas y verduras. (Cuidateplus, 2021).

Se consideran antioxidantes no enzimáticos a aquellos que se adquieren mediante la dieta y se encuentran vitaminas, flavonoides y licopeno.

Los antioxidantes enzimáticos son aquellos que el organismo produce y contrarrestan los efectos de los radicales libres en cierto grado.

1.2.1 Polifenoles

Se originan principalmente en las plantas, como producto de su metabolismo secundario. Algunos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales. Otros actúan en la defensa ante situaciones de estrés y diversos estímulos.

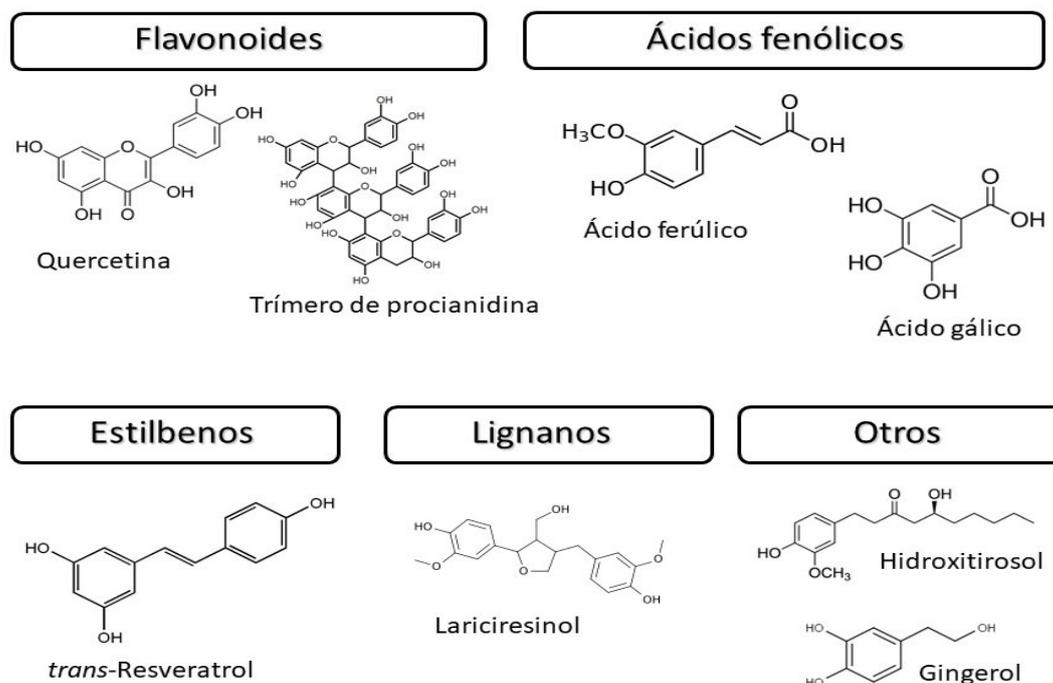
La biosíntesis de los polifenoles tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias:

- “La ruta del ácido químico proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina o tirosina), y la síntesis de los ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano).
- La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas.” [4]

En la **figura 3** se evidencian las estructuras químicas de diversas clases de polifenoles que se pueden encontrar en frutas y verduras.

Figura 3.

Estructuras químicas representativas de las distintas clases de polifenoles de la dieta

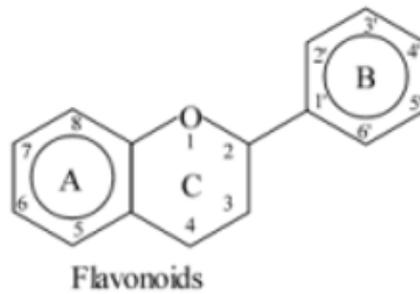


Nota. La estructura química de los polifenoles se caracteriza por poseer un grupo ceto en el carbono C_4 y una insaturación entre los carbonos C_2 y C_3 . Poseen un grupo hidroxilo adicional en el carbono C_3 . Representan el grupo más ubicuo de polifenoles presente en tomate de árbol. Tomado de: M. Quiñones, M. Miguel y A. Aleixandre. (2012). “Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular”. [En Línea]. Disponible: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009#:~:text=Los%20compuestos%20fen%C3%B3licos%20son%20el,de%20enfermedades%20cardiovasculares1%2C2.

1.2.1.a Flavonoides. Flavonoides. Son moléculas polifenólicas que se encuentran en los vegetales y son pigmentos que protegen al organismo de los agentes oxidantes. Son solubles en agua, metanol y etanol. Su estructura consta de dos anillos de benceno (A y B) unidos mediante un anillo heterocíclico con oxígeno en la mayoría de los casos (**figura 4**)

Figura 4.

Flavonoides



Nota. Son compuestos fenólicos que se encuentran ampliamente distribuidos en frutas y verduras y en diversas bebidas y que pertenecen al grupo de compuestos fitoquímicos que representan componentes sustanciales de la parte no energética de la dieta humana. Tomado de: Universidad Nacional de San Martín Trapoto. “Informe de ingeniería para optar el título Profesional de Ingeniero Agroindustrial”. (2014). [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/98/TP%20%20UNH%20AGROIND%20%200015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Propiedades de los flavonoides:

- Efecto anti arrítmico y anti isquémico: el número y la posición de los grupos hidroxilos tienen un efecto en la actividad anti arrítmica.
- Actividad anti fúngica: es mayor en los compuestos cuya molécula está compuesta por metiles, como se evidencia en muchos cítricos.
- Actividad anti trombogénica: aumenta en las flavonas a medida que aumenta el grado de metilación.
- Actividad antitumoral: las flavonas presentan alta actividad antitumoral al igual que sus glicósidos.

Distribución:

La molécula de flavonoide es generada mediante el metabolismo secundario, por medio de la ruta del ácido shikimico y la ruta de los policétidos. Los flavonoides se biosintetizan en plantas terrestres, embriofitas y algas *Charophyta*, así mismo estos flavonoides son sintetizados en el citoplasma y son dirigidos hacia su destino final (las vacuolas); estos flavonoides dentro de la célula cumplen funciones metabólicas, tales como: Proporciona resistencia a las plantas de la fotooxidación, participan en el transporte de la hormona auxina y ayudan a la defensa ante el herbivorismo.

1.2.1.b Flavonas. Son un subgrupo de los flavonoides que se diferencian de otros subgrupos por su estructura molecular. Son abundantes en plantas con flores de color crema o blancas, funcionan como pesticidas y regulan las bacterias y hongos.

1.2.1.c Isoflavonas. Poseen un anillo bencénico lateral en posición C₃, poseen grupos hidroxilos en los carbonos C₇ y C₄. Las isoflavonas unen receptores de estrógenos, y por ello se clasifican como fitoestrógenos, son termosensibles y pueden hidrolizarse durante su procesamiento industrial y su conservación. [5]

1.2.1.d Antocianinas. Son compuestos hidrosolubles y generan pigmentos en los vegetales. Las antocianinas tienen alta variedad y se encuentran en la dieta humana, como en variedades de cereales, en el vino tinto y en algunos vegetales, pero, principalmente en las frutas.

1.2.2 Vitamina E

Según el National Institutes of health, la vitamina E es uno de los antioxidantes lipídicos más importantes ya que tiene la capacidad de captar oxígeno. Su actividad antioxidante se centra en la inhibición de la peroxidación lipídica proveniente de los radicales libres.

De igual forma, el organismo también necesita la vitamina E como estímulo para el sistema inmunológico para combatir bacterias y virus, adicionalmente ayuda a evitar la formación de coágulos internos. [6]

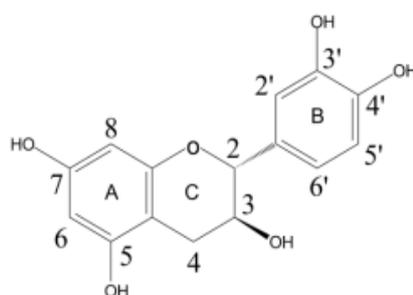
1.2.3 Catequinas

Pertencen a los flavonoides flavan-3-oles. Tienen la capacidad de secuestrar radicales libres y es por esto que se consideran antioxidantes naturales y se utilizan para retardar la oxidación

de lípidos. Poseen un grupo catecol en el anillo B y un grupo resorcinol en el anillo A como se evidencia en la **figura 5**. (Fabiola María Iñiguez, 2011)

Figura 5.

Catequina



Catequina

Nota. Estructura de la Catequina. Tomado de: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. “Estudios de la difusión de catequina y epicatequina en películas de ácido poliláctico y su caracterización fisicoquímica”. (2018). [En Línea].

Disponible:

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/22542>

30

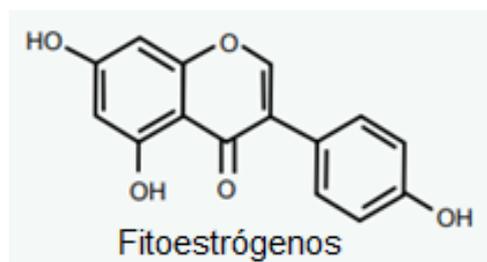
Debido a la carencia del doble enlace C2-C3, la molécula puede presentar isomerismo cis-trans, epimerizaciones y racemización. Estos antioxidantes existen en forma de aglicón, es decir, no se glicosilan, pero se pueden polimerizar de manera natural para formar taninos

1.2.4 Fitoestrógenos

Son compuestos no esteroideos con una estructura difenólica heterocíclica común y a este se le unen los grupos oxo, ceto, hidroxilo y ésteres de metilo que le dan la función y una actividad específica biológica como se muestra en la **figura 6**. Su estructura es similar a la de los estrógenos.

Figura 6.

Fitoestrógenos



Nota. Se trata de sustancias similares al 17- β -estradiol y a los SERM (moduladores selectivos de los receptores estrogénicos), ya que están dotados de una menor o mayor actividad estrogénica. Tomado de: Ivonne Díaz-Yamal, M.D. “Artículo de revisión fitoestrógenos”. (2009, mayo 12) [En Línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcog/v60n3/v60n3a08.pdf>

“Los fitoestrógenos han sido clasificados en el grupo SERM (moduladores selectivos del receptor de estrógenos) por su perfil farmacológico. Su forma de unión al receptor de estrógenos hace que tengan una acción específica a nivel del ADN; por lo tanto, tienen efectos estrogénicos y anti estrogénicos. Esta selectividad está dada por las proteínas adaptadoras a nivel del complejo hormona-receptor.” [7]

1.3 Propiedades fisicoquímicas

1.3.1 Sólidos solubles totales

Son compuestos que usualmente conforman sistemas homogéneos con diversas sustancias como azúcares, minerales, sales, entre otras sustancias que son solubles en agua. Los sólidos solubles totales se miden mediante refractómetros y se basa en la desviación del ángulo luminoso y se relaciona con el contenido de elementos solubles. (Rosario Vila, 2006).

A través de este se mide el contenido de azúcar, carbohidratos, proteínas, ácidos orgánicos, minerales del fruto y grasas.

1.3.2 Método CIElab

“Define un espacio tridimensional con tres planos, cuyas coordenadas son los parámetros L , a^*b^* ; en donde L es la luminosidad, a^* es la coordenada de color entre rojo (+) y verde (-) y b^* es la coordenada de color entre amarillo (+) y azul (-).” [8]

1.4 Métodos de extracción

1.4.1 Extracción con fluidos supercríticos

Los fluidos supercríticos o FSC tienen propiedades entre un líquido y un gas como la capacidad de disolver solutos, tienen alta difusividad, así como baja viscosidad y miscibilidad con gases permanentes. La extracción es selectiva ya que se pueden variar condiciones como la presión y temperatura, además cuentan con un bajo consumo de energía y es fácil eliminar los fluidos utilizados, también cuentan con la posibilidad de fraccionar los extractos y no utilizan solventes orgánicos.

El método de extracción con fluidos supercríticos usa un fluido en estado supercrítico (solvente) teniendo así un híbrido entre un gas y un líquido. El fluido supercrítico más empleado gracias a su temperatura relativamente baja, su baja toxicidad y alta disponibilidad es el dióxido de carbono. Este método de extracción es amigable con el medio ambiente ya que este no incorpora solventes orgánicos y las materias primas son de fácil acceso y no son sometidas a elevadas temperaturas que alteran las propiedades químicas, permitiendo que productos obtenidos mantengan sus propiedades. [9]

Su uso más frecuente es en reacciones gas-líquido, ya que al operar en condiciones supercríticas tiene la ventaja de eliminar la interface gas-líquido y así reducir la resistencia a la transferencia de masa. Consiguiendo así un mejor control en la superficie catalítica de los reactivos y teniendo como finalidad un incremento en el rendimiento, velocidad del proceso y selectividad. (Luis Vázquez, 2008).

1.4.2 Extracción con solventes

Es una técnica de separación selectiva una mezcla puede ser líquida o sólida y se basa en las diferencias de solubilidades de los compuestos de esta a través de un solvente. Se usa para aislar sustancias disueltas en mezclas o soluciones, así como para remover impurezas.

Tipos de extracción según el solvente:

- Extracción con solvente inerte: el solvente no modifica la estructura del compuesto que se extrae.
- Extracción con solvente activo: el solvente crea diversas reacciones reversibles del tipo ácido-base.

“La elección del solvente de extracción depende de la solubilidad del compuesto a extraer, de la volatilidad y toxicidad de los posibles solventes a emplear. Hay que recordar, que el solvente de extracción debe ser inmisible con la fase a extraer. El volumen de solvente de extracción a emplear será de 1/3 del volumen de la fase a extraer.” [10]

1.5 Detección, determinación y cuantificación de flavonoides

1.5.1 Ensayo de Shinoda.

A través de este método se puede identificar la presencia de flavonoides en los extractos vegetales a través de una coloración que va desde el amarillo hasta el rojo, lo que indica positivo para flavonoides, para generar esta coloración, es necesario adicionarle a la muestra magnesio y HCl concentrado. (Marilú Roxana Soto, 2015)

1.5.2 Método de Folin Ciocalteu.

Se utiliza para medir el contenido de compuestos fenólicos totales de diversos productos vegetales. Estos compuestos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu a un pH superior de 10, lo cual genera una coloración azul y esta se mide en un espectrofotómetro a 765 nm. El reactivo es una mezcla entre wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico, los cuales reaccionan con la muestra vegetal. El ácido fosfomolibdotúngstico es de color amarillo y al reaccionar con los grupos fenólicos da lugar a la coloración azul y de esta forma es posible medir el contenido de polifenoles. (Sebastián Patricio Silva, 2012)

El método de Folin-Ciocalteu permite determinar y cuantificar los fenoles totales presentes en la cascara del fruto de tomate de árbol, mediante ácido gálico como material de referencia, cabe mencionar que en el presente trabajo de grado este método es un paso importante para llegar a determinar la actividad antioxidante que poseen los flavonoides presentes en la cascara del tomate de árbol, ya que este obtiene un complejo colorimétrico al momento de que los

compuestos fenólicos (flavonoides) reaccionan con el reactivo de Follin , permitiendo identificar y cuantificar la presencia de dicho polifenol mediante espectrofotometría.

1.5.3 Ensayo DPPH

«Este estudio evalúa la actividad antioxidante usando el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) que puede obtenerse directamente sin una preparación previa. Este método se utiliza para determinar la capacidad antioxidante de alimentos y compuestos sintéticos.

Este método, desarrollado por BRAND-WILLIAMS, se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH, por antioxidantes. Con modificaciones el método descrito por KIM, se basa en la medida de la absorbancia del radical DPPH 100 μ M (39 ml) disuelto en metanol al 80%, a la longitud de onda de 517 nm. Se añade 0.1 ml de la muestra o patrón, la mezcla se homogeniza cuidadosamente, y se mantiene TEAC, o sea, actividad equivalente a Trolox (μ M/g de muestra peso fresco).» [11]

1.5.4 Ensayo ABTS

Este ensayo mide la actividad antioxidante total mediante espectrofotometría para soluciones, sustancias y mezclas. Este ensayo se basa en la activación de la metilmioglobina con peróxido de hidrogeno, produciendo un radical catión; sin embargo, existe otro formato más apropiado, este consiste en implementar la decoloración, donde el radical se genera de manera estable (ABTS **) antes de la reacción con los antioxidantes, este posee una coloración verde-azul, esto es resultado de la reacción entre ABTS y el persulfato de potasio. La adición de un antioxidante (flavonoides) al radical anteriormente formado reduce a ABTS, esto generando un grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical (ABTS**), así obteniendo la concentración en unidades de Trolox.

2. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

La extracción se utiliza para separar un producto de alguna mezcla a través de un solvente. La extracción de los diferentes flavonoides usualmente se realiza partiendo del material vegetal fresco, también se puede usar material vegetal seco, teniendo en cuenta el proceso de secado ya que no se debe alterar la composición de los flavonoides.

2.1. Técnicas de extracción de flavonoides

Identificar y seleccionar las técnicas de extracción es necesario ya que se debe tener en cuenta la más favorable con el medio ambiente, minimizando el uso de los solventes orgánicos sin que se vea afectado el rendimiento. Para esto se debe tener una correcta preparación del material vegetal a utilizar para eliminar la mayoría de impurezas antes de ser usado en los diferentes procesos; escoger el tipo de solvente a utilizar, así como la técnica para obtener los extractos.

Para extraer flavonoides se pueden usar técnicas con solventes orgánicos que presentan gran afinidad con las muestras o técnicas avanzadas que se apoyan en la tecnología para sustituir los solventes, como la extracción por fluidos supercríticos.

A continuación, se observan las técnicas que se estudiarán en el proyecto y posteriormente la selección del método a emplear y evaluar.

2.1.1 Extracción Soxhlet

La extracción Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido, es usada para determinar el contenido graso presente en una muestra. Para llevar a cabo este proceso es importante tener una muestra sólida finamente pulverizada ya que esta va a ser colocada en un cartucho de material poroso situado en la cámara del extractor Soxhlet, donde se calienta el disolvente, situado en el matraz de ebullición, “se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos disueltos, asciende por el sifón y retorna al matraz de ebullición. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente.” [12]

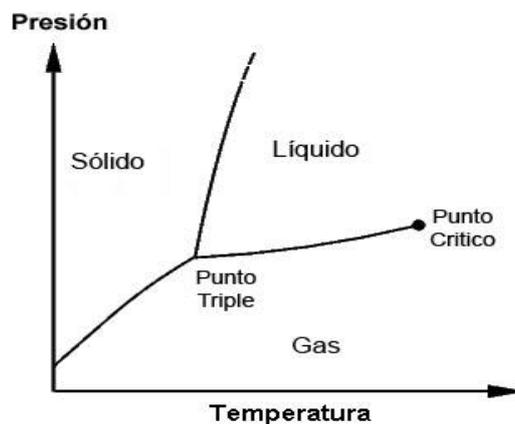
2.1.2 Extracción mediante fluidos supercríticos

Esta es una operación unitaria que es utilizada comúnmente para la obtención de compuestos activos de una matriz vegetal por transferencia de masa a partir de un agente extractor (solvente) en estado supercrítico ver **figura 7**.

Este método reemplaza los métodos de extracción tradicionales ya que presenta ventajas como procedimientos que sean viables con el medio ambiente, debido a la ausencia de sustancias tóxicas; otra ventaja que presenta es que no necesita ningún proceso de separación previo o adicional. Este método varía permitiendo realizar extracciones selectivas, rápidas y efectivas.

Figura 7.

Diagrama de fases y punto triple



Nota. En el diagrama de fases se pueden evidenciar los tres estados de la materia con respecto a la temperatura y presión. Cuando cualquier sustancia que se encuentre en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico estamos en presencia de un fluido supercrítico. Tomado de: Lifeder. (noviembre 9, 2021). "Punto triple". [En línea]. Disponible: <https://www.lifeder.com/punto-triple/>

Para la extracción con fluidos super críticos se utilizan diversos solventes, en la **tabla 4** se muestran algunas de las sustancias con sus propiedades supercríticas para ser empleadas en este método.

Tabla 4.

Propiedades supercríticas de ciertas sustancias

Fluido	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica (atm)	Densidad crítica (g/cm³)
CO ₂	31.06	73.9	0.46
N ₂ O	36.42	72.8	0.32
NH ₃	132.50	113.0	0.24
C ₂ H ₅ OH	240.77	61.2	0.45
H ₂ O	373.98	219.4	0.27

Nota. La presión, temperatura y densidad crítica de cada solvente es de gran relevancia, ya que permiten conocer las condiciones de operación que deben ser establecidas al momento de la extracción. Tomado de: Luis Vázquez. (2008). “Extracción con fluidos supercríticos”. [En Línea]. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1830/5441_vazquez_frutos_luis.pdf?sequence=1

Este método de extracción se basa en implementar un fluido llamado supercrítico en lugar de un líquido como solvente, siendo el dióxido de carbono el más comúnmente empleado debido a su temperatura crítica ya que es relativamente baja (31.06°C), es una sustancia no tóxica, no inflamable, no corrosiva, con alta pureza, químicamente inerte y su adquisición es fácil y relativamente barata. Por otra parte, tiene un gran interés debido a que sus propiedades fisicoquímicas tales como baja temperatura crítica evitan o minimiza la degradación de compuestos termolábiles y la generación de compuestos indeseables.

2.1.2.a Etapas de extracción. El proceso de extracción mediante fluidos supercríticos, consta de 4 etapas.

1. Ajuste de temperatura: Se eleva o disminuye la temperatura, para llevar el solvente a la temperatura adecuada de extracción (por encima de su temperatura crítica).

2. Presurización: Elevar la presión por encima de la presión crítica del dióxido de carbono.

3. Extracción: El fluido supercrítico entra en contacto con la muestra que contiene el soluto de interés en el extractor.

4. Separación: El solvente se descomprime a una presión inferior a la crítica, lo que provoca que se libere del soluto.

2.2 Comparación y selección de los métodos

Los métodos serán evaluados mediante una matriz de decisión con el objetivo de seleccionar la mejor alternativa para la extracción de flavonoides a partir del tomate de árbol.

El análisis se realizará a través de una matriz decisión de Pugh. Permite comparar diversos factores a través de un arreglo multidimensional cuantitativo. “Este permite identificar los diferentes criterios que serán evaluados y así poder especificar los conceptos de diseño. La matriz de Pugh es un proceso sistemático que permite seleccionar la mejor alternativa de diseño; para ello todos los criterios deben ser especificados y se les debe asignar una importancia relativa y finalmente el valor final es una ponderación de todas las alternativas.” [13]

Para el desarrollo de la matriz de Pugh, la metodología es la siguiente: Se determinan 5 factores para la selección del método de extracción y 5 para la selección del solvente; a cada factor se le asigna 3 niveles de importancia donde 1 es de baja importancia, 2 es importante y 3 altamente importante, esto para cada criterio. Luego se evalúa cada criterio asignando, teniendo en cuenta que, si este afecta o es de gran relevancia en el resultado final, se le asigna con signo positivo (+), si es de poca relevancia, se le asigna negativo (-) y si el criterio no afecta el resultado final se identifica con un 0 y significa que es neutro.

Finalmente, se suman los signos y la puntuación más alta corresponderá al método que se empleará en este trabajo de grado.

2.2.1 Factores para la selección del método de extracción

- Presión de extracción. Para la extracción Soxhlet, se manejan presiones de 10 MPa a 30 MPa ya que al manejar solventes orgánicos se deben usar altas presiones para la extracción. La extracción mediante fluidos supercríticos hace uso de una presión superior a la presión crítica del solvente a usar.
- Tiempo de extracción. Este factor depende del tamaño de la muestra y la temperatura de extracción de cada método; este factor es muy importante ya que incide en la eficiencia de la extracción, calidad, rendimiento y costos de operación.
- Gasto energético. En los diferentes procesos de extracción se busca optar por métodos que presenten bajo consumo energético con el fin de disminuir la contaminación ambiental y generar viabilidad en términos económicos.

- Rendimiento del proceso. Tiene como finalidad comparar cuál de los dos métodos de extracción tiene un mayor rendimiento; para ellos se tiene en cuenta la relación entre gasto de materia prima, costo de inversión y cantidad de compuesto extraído.
- Afinidad con el solvente. Se basa en las diferencias de solubilidad que hay entre el solvente de extracción y el compuesto deseado. No cualquier sustancia se disuelve en otra, es por ello que para una sustancia se disuelva en otra debe existir una afinidad química entre ellas.

Se elabora una matriz de selección del método de extracción través de la matriz de Pugh (**tabla 5**). Según el artículo "Supercritical fluids in separation and purification: A review", dice que los fluidos supercríticos presentan una gran utilidad y flexibilidad; sin embargo, existen desventajas acerca de sus requisitos energéticos, el alto costo de inversión de capital, altas presiones y altos costos de operación con respecto a la extracción por solventes. Por otro lado, la extracción Soxhlet es un proceso en el que el solvente permanece en constante contacto con la muestra mejorando el rendimiento del extracto en determinados tiempos; así mismo este se realiza con un disolvente caliente, favoreciendo la solubilidad de los analitos sin la necesidad de llegar a implementar una filtración después de la extracción. [14]

Tabla 5.*Matriz de selección del método de extracción*

MÉTODO DE EXTRACCIÓN		FLUIDOS SUPERCRÍTICOS	SOXHLET
Criterios/Factor	Valor		
Tiempo de extracción	3	-	+
Presión de extracción	3	+	+
Eficiencia energética	1	0	0
Afinidad al soluto	3	+	+
Rendimiento de proceso	2	0	+
Costos de operación	3	+	+
TOTAL	+ 0 - TOTAL	3 2 1 2	5 1 0 5

Nota. Los resultados obtenidos en la matriz, determinan el método que será estudiado en el presente trabajo de grado para la extracción de flavonoides y para la elaboración del diseño conceptual. El proceso de extracción que se llevará a cabo en el presente trabajo, es la extracción Soxhlet; sin embargo, se realizará el respectivo estudio de los rendimientos de los diferentes métodos de extracción y la comparación de la capacidad antioxidante.

2.2.2 Selección de solventes

2.2.2.a Efecto de los disolventes. En fluidos supercríticos el CO_2 es el solvente comúnmente utilizado. El CO_2 es un disolvente no polar y es excepcional para la extracción de compuestos no polares. Sin embargo, es menos eficaz en la extracción de compuestos activos biológicos polares que se encuentran en las plantas.

2.2.2.b Factores de selección del solvente en la extracción Soxhlet. En la **tabla 6** se evidencian diversos factores para la selección del solvente como costos y características.

Tabla 6.*Factores de selección del solvente en la extracción Soxhlet*

SOLVENTE		Hexano	Metanol	Etanol	Agua desionizada	Acetona
Factores	Valor					
Afinidad con el soluto	3	-	+	+	+	+
Miscibilidad	3	+	+	+	+	+
Temperatura de ebullición (°C)	3	0	+	0	-	+
Toxicidad	3	-	-	+	+	-
Costo (\$ 1L)	3	-	-	+	+	-
TOTAL		-2	1	4	3	1

Nota. La presente tabla permite diferenciar cuatro tipos de solventes, comparando factores importantes al momento de ser empleados en un método de extracción, con el fin de obtener una mayor afinidad con el soluto. Datos como la temperatura fueron seleccionados de las fichas de seguridad de cada reactivo y el valor en COP de un 1 litro de reactivo fueron tomados de la empresa Instrumentalia.

Con respecto a la matriz de selección del método de extracción y su resultado obtenido (extracción Soxhlet) y la **tabla 6** se hace la selección del solvente que se va a implementar en la respectiva extracción. El solvente seleccionado es etanol, agua y la mezcla entre estos, debido a que estos presentan bajos costos como materia prima en comparación con los demás solventes; su polaridad, miscibilidad y su no toxicidad son los más aptos para su debida extracción.

- Afinidad con el soluto. Los flavonoides poseen heterósidos que son solubles en agua caliente, alcohol y disolventes orgánicos polares, siendo insolubles en los apolares. Sin embargo, cuando estos se encuentran en estado libre, son poco solubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos más o menos oxigenados, dependiendo de su polaridad.
- Miscibilidad. “la miscibilidad del compuesto con agua depende del porcentaje del peso de la cadena de hidrocarburos. En los alcoholes, el etanol que tiene dos átomos de carbono es miscible en agua, mientras que el 1-Octanol es inmisible, en algunos casos la miscibilidad de los líquidos depende de la proporción en la que se encuentra en la mezcla.” [14]

Para este caso se debe tener en cuenta un solvente que favorezca la miscibilidad al contacto con el material vegetal y por ende a la extracción de los flavonoides.

- Temperatura. La extracción Soxhlet se maneja por medio de la temperatura de ebullición del solvente a utilizar; mientras que la extracción mediante fluidos supercríticos se eleva o disminuye la temperatura, para llevar el solvente a la temperatura adecuada de extracción (por encima de su temperatura crítica).
- Toxicidad. Es un factor muy importante ya que todos los disolventes orgánicos son tóxicos y desprenden vapores pesados; es por este motivo que se busca llevar a cabo procesos más amigables y seguros para el medio ambiente.
- Costos. El solvente a seleccionar debe tener afinidad con el soluto además de garantizar que el proceso sea viable económicamente ya que éste será escalado de manera industrial y presentara múltiples replicaciones.

2.2.2.c Selección método de extracción con solventes. En la **tabla 7** se evidencia la segunda matriz de Pugh, la cual corrobora los factores para la selección del método de extracción.

Tabla 7.*Matriz de selección del método de extracción*

MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES		FLUIDOS SUPERCRITICOS (CO ₂)	SOXHLET (Etanol- Agua)
Criterios	Valor		
Miscibilidad del solvente	3	+	+
Temperatura	3	+	+
Toxicidad del solvente	3	-	+
Costos del solvente	3	-	+
Polaridad del solvente	3	+	+
TOTAL		1	5

Nota. Se evalúan cinco factores importantes que influyen en los dos métodos de extracción ya anteriormente seleccionados. Para la extracción mediante fluidos supercríticos se hace uso de dióxido de carbono como solvente y en la extracción Soxhlet se hace uso de metanol-agua, esto con el fin de tener un mayor porcentaje de afinidad con el soluto y así obtener mayor concentración de extracto.

La presente matriz de selección evidencia y corrobora nuevamente el método de extracción que se llevará a cabo (extracción Soxhlet), en este caso esta matriz hace la respectiva evaluación con los solventes ya seleccionados anteriormente. A pesar de que el CO₂ es un solvente económico y con mayor accesibilidad, es un compuesto no polar y tiene poca afinidad con la muestra vegetal (cáscaras) ya que esta es de carácter polar. La implementación de solventes como metanol y agua presentan mayor afinidad con el soluto y permite una mayor extracción del compuesto deseado (flavonoides).

2.2.2.c Relación costo-rendimiento. Con base en las mejores condiciones encontradas para la extracción con CO₂ supercrítico y junto con las características de montaje y operación de la extracción Soxhlet, se hizo una evaluación económica simple para cada técnica, teniendo en cuenta los costos operativos más importantes involucrados en cada caso.

En la **tabla 8** se evidencia que los costos de solvente y de consumo energético son menores para la extracción Soxhlet y por ende es otro factor que corrobora esta extracción como la adecuada para el diseño conceptual.

Tabla 8.

Costos de operación

COSTO DE OPERACIÓN	EXTRACCIÓN CON CO₂	EXTRACCIÓN CON SOXHLET
Costo de solvente (COP)	\$ 173873.36 Ton	Agua (metro cubico) \$ 2292.26 Etanol (litro) \$21850
Costo energético (COP)	0.16 kW: \$38	0.11kW: \$27

Nota. El conocimiento de los costos de operación para la extracción de flavonoides es fundamental ya que este permite implementar los sistemas de gestión, por el cual contribuye a tomar decisiones respecto a la optimización del extracto final. Los datos del costo del solvente fueron tomados con respecto al valor en pesos colombianos de cada reactivo y el costo energético a partir del consumo de cada proceso.

La presente tabla de costos de operación permite identificar la diferencia entre los dos métodos de extracción que se han venido evaluando. El costo de operación de la extracción con CO₂ supercrítica es menor que el de la extracción Soxhlet en términos de costos de solvente; sin embargo, dadas las características de los equipos que son necesarios para la extracción con fluidos supercríticos, la inversión inicial de este es mayor. Por otro lado, la extracción Soxhlet presenta costos de solventes más costosos, pero en términos de proceso este es más económico y accesible. Para la extracción Soxhlet se tiene en cuenta la ubicación en donde se llevaría a cabo el presente proyecto, con el fin de establecer los costos de solvente con respecto al estrato socioeconómico.

2.2.3 Factores evaluados para la selección del método de extracción y factores evaluados para la selección solvente

- **Temperatura.** Para la extracción no debe superar los 60°C, esto con el fin de garantizar que los metabolitos secundarios no se degraden durante el proceso en extracción Soxhlet y en fluidos supercríticos se debe asegurar que la temperatura sea mayor al punto crítico. En la matriz se le otorgó valor de 3 y signo positivo (+), ya que tiene gran importancia y con el método se puede controlar este factor.
- **Tiempo de extracción.** Tiene un valor de 3 ya que afecta la eficiencia de la extracción en términos de calidad, en fluidos supercríticos tiene signo negativo (-) ya que el tiempo no es

un factor clave que afecte al proceso y en Soxhlet tiene un signo positivo (+) ya que afecta rendimiento del producto a obtener.

- Presión de extracción. En fluidos supercríticos la presión debe ser mayor al punto crítico del solvente utilizado ya que la presión afecta la solubilidad de varios componentes en el fluido supercrítico y en extracción Soxhlet se debe manejar una presión entre 10 MPa a 30 MPa. Tiene un valor de 3 y en las dos extracciones cuenta con signo positivo (+) ya que es un factor importante que se debe controlar y tener en cuenta.
- Eficiencia energética. En los procesos se busca disminuir el consumo de energía y reducir el impacto negativo al medio ambiente y así reducir costos. Si bien es un factor importante, en la matriz tiene un valor de 1 ya que no afecta el resultado de la extracción y es neutral es decir cero (0).
- Afinidad al soluto. Es un factor importante, aparte de que debe tener afinidad con la muestra también con el método de extracción. Se le asigna un valor de 3 es decir que es muy importante para el proceso y se le otorga un signo positivo (+) para las dos extracciones e indica que el método es afín con el solvente seleccionado.
- Rendimiento del proceso. Si bien es un factor importante se le asigna un valor de 2 ya que depende en Soxhlet del tiempo y el volumen de la muestra a extraer por esto se le da un signo positivo (+) ya que se debe tener cuidado y en fluidos supercríticos tiene un valor cero (0) es decir que es neutro y no afecta el proceso ya que sin importar el tiempo de extracción el rendimiento será el mismo.
- Miscibilidad del solvente. Es importante para la selección de este, ya que es necesario un solvente que favorezca la miscibilidad al contacto con el material para favorecer la extracción, es por esto que se otorga un valor de 3 y en extracción con fluidos supercríticos y Soxhlet tiene un valor positivo (+) ya que para garantizar la extracción del metabolito de interés se debe tener en cuenta.
- Toxicidad del solvente. Es uno de los factores más importantes para la salud y el medio ambiente y por esto tiene un valor de 3; en extracción con fluidos supercríticos se le da un signo negativo (-) ya que para este caso el CO_2 es un disolvente inherentemente no polar y es un disolvente excepcional para la extracción de compuestos no polares al ser gas a temperatura y presión ambiental hace que la eliminación del disolvente sea inmediata y la presencia de residuos sea prácticamente nula sin valores tóxicos, es por esto que no tiene alta relevancia. En la extracción Soxhlet se emplean disolventes orgánicos y muchos de estos son tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente por esto tiene un signo positivo

(+) ya que es importante se debe tener cuidado con el solvente es un disolvente inherentemente no polar y es un disolvente excepcional para la extracción de compuestos no polares.

- **Costos de operación.** Se le asigna un valor de 3 ya que es muy importante y se debe escoger un método que sea económico, en extracción con fluidos supercríticos los procesos tienen costos más elevados ya que se manejan equipos complejos y altos niveles de seguridad, así como mayores costos de operación y mantenimiento que en Soxhlet, se les da un valor positivo (+) a las dos extracciones ya que, si bien fluidos supercríticos es más costoso que Soxhlet el factor económico es importante y afecta la selección del proceso.
- **Costos de solvente.** Se le da un valor de 3 es decir que es un factor muy importante para la selección de los solventes en extracción con fluidos supercríticos se le da un signo negativo (-), a pesar de que el CO_2 es un solvente más económico que los orgánicos no tiene gran relevancia en el proceso y en extracción Soxhlet se ve afectado el proceso ya que se elevan los costos por dichos solventes y es por esto que se da un signo positivo (+).
- **Polaridad del solvente.** Es un factor sumamente importante y por esto tiene un valor de 3. Para las dos extracciones se le asigna signo positivo (+) ya que la polaridad es un factor que se debe tener en cuenta para la selección del solvente, en fluidos supercríticos el CO_2 es un disolvente inherentemente no polar y es excepcional para la extracción de compuestos no polares, pero no es tan eficaz en compuestos polares y en extracción Soxhlet los solventes orgánicos a utilizar son polares y afines con la naturaleza polar de la muestra.

2.3 Preparación de la muestra para el proceso de extracción

Para realizar la extracción de los flavonoides es necesario la adecuación de la muestra cómo se evidencia a continuación.

2.3.1 Adecuación de la muestra

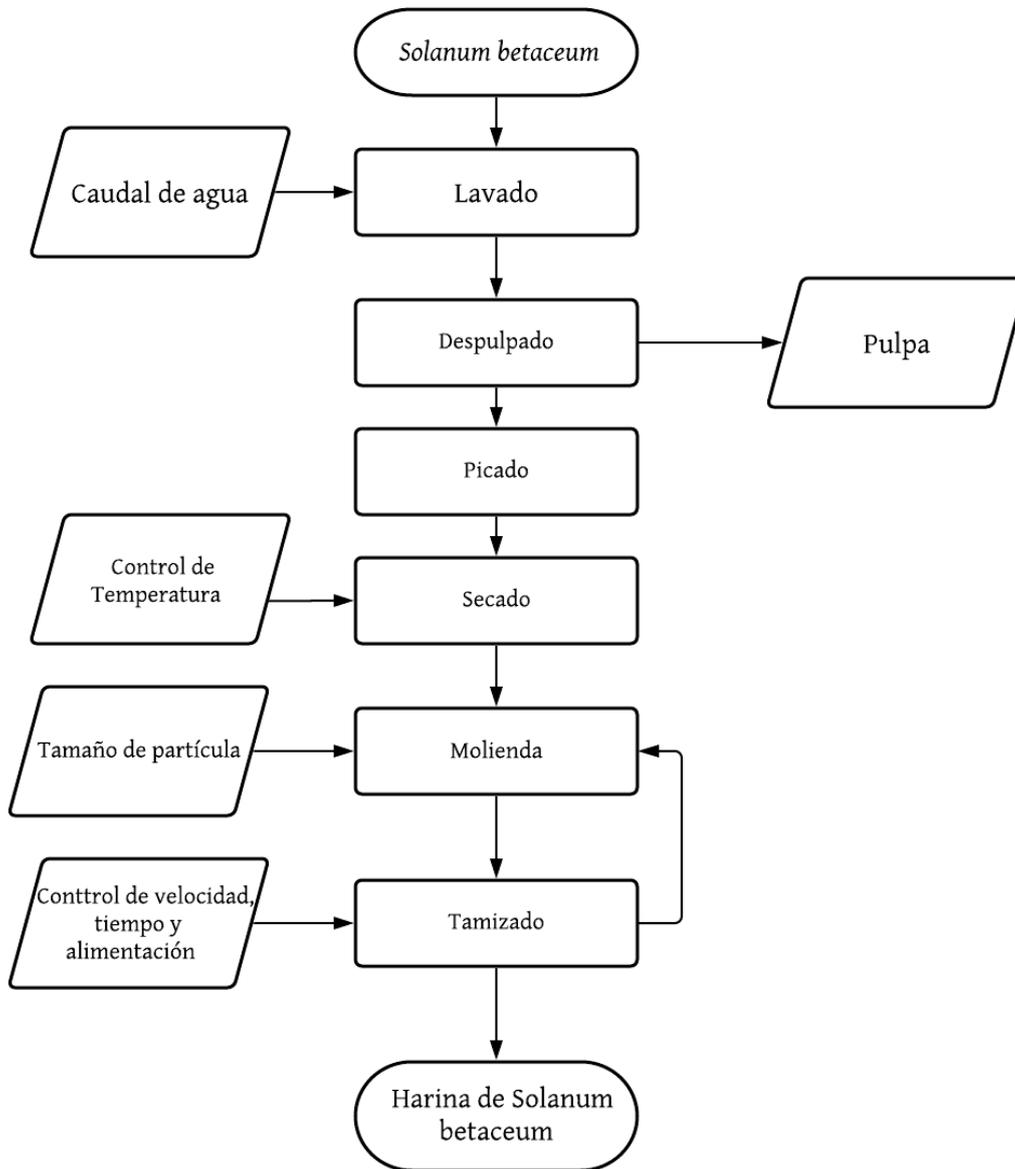
- **Lavado y corte.** Se realiza con la finalidad de eliminar o remover las impurezas que el fruto contenga y seguido a esto se hace el corte de la cáscara.
- **Picado.** El respectivo picado es aplicado de manera simétrica en el epicarpio del tomate de árbol con el fin de garantizar el secado de manera conjunta, sin necesidad de prolongar los tiempos de secado.

- **Secado.** Las muestras (cáscaras) son sometidas a un proceso de liofilización, a temperaturas inferiores de los 0°C y 0.1 Pa de presión por cuatro días, aisladas de la luz.
- **Molienda.** “Para aumentar el rendimiento de la extracción es necesario aumentar el área de contacto, por este motivo el fruto ya pelado debe ser sometido a un proceso de molienda en el cual su tamaño de partícula disminuye” [15]. Se procede a moler hasta obtener un polvo fino. con tamaño de partícula de 0.72-0.43 y 1.70-0.72 [16]
- **Tamizado.** con el fin de separar las partículas gruesas de las finas para ser sometidas a una caracterización y una extracción. Según fuentes bibliográficas se puede comprobar que cuanto menor sea el tamaño de partícula de la muestra mayor será el rendimiento de extracción, este puede ser de 300 μm .

El proceso para la preparación de la muestra se muestra en la **figura 8**.

Figura 8.

Diagrama de Preparación de la muestra



Nota. Diagrama de bloques de la adecuación de la muestra (epicarpio de *solanum betaceum*).

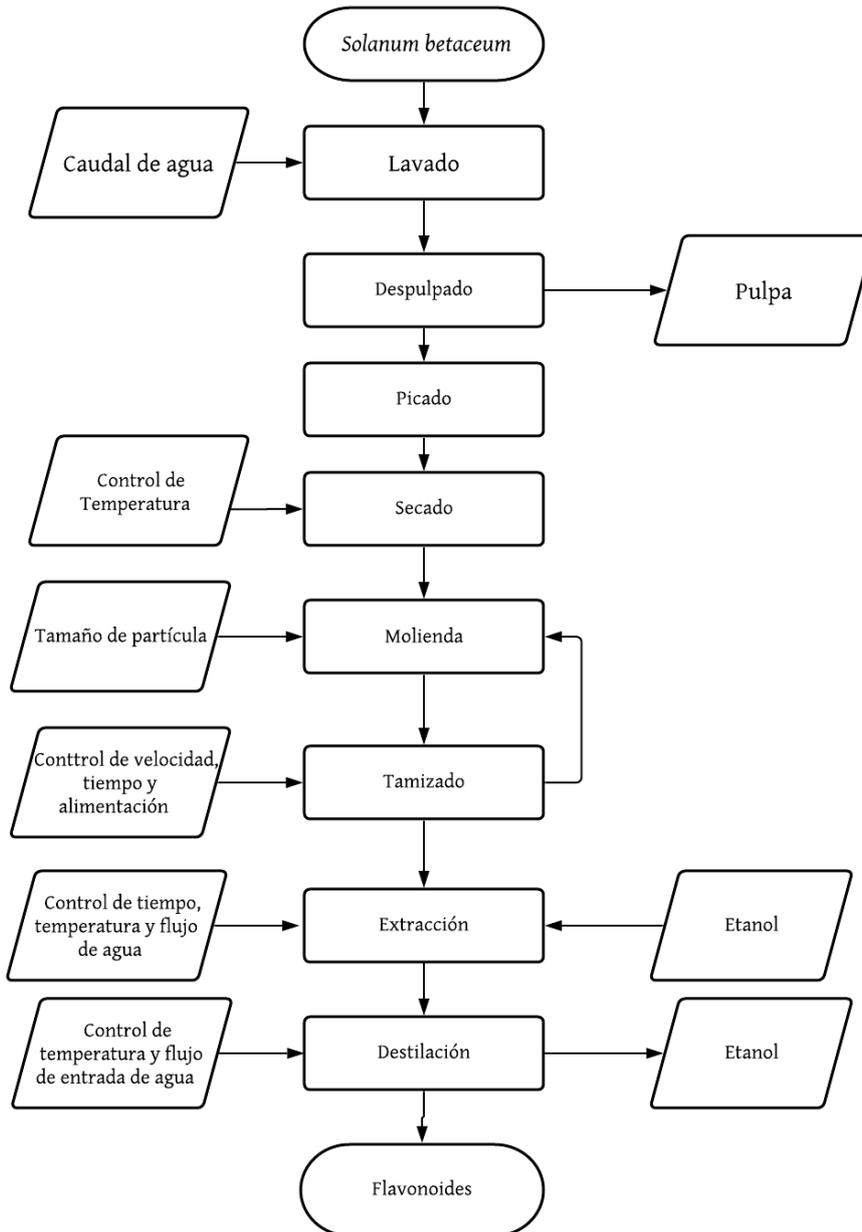
2.4 Extracción de flavonoides a partir del método Soxhlet

A continuación, se presenta la metodología (ver **figura 9**) y el estado del arte del proceso de extracción de flavonoides, de igual forma la cuantificación e identificación de estos a través del método de Folin-Ciocalteu. Los antecedentes evaluados hacen referencia a estudios ya realizados para el *solanum betaceum*.

2.4.1 Metodología

Figura 9.

Diagrama de la metodología del proceso de extracción por Soxhlet



Nota. Extracción de flavonoides a partir del epicarpio de *solanum betaceum* a partir de extracción Soxhlet.

2.4.2 Condiciones de extracción Soxhlet reportada

En la **tabla 9** se observan las condiciones de temperatura, tiempo de extracción, entre otros factores, reportada por diversos autores.

Tabla 9.

Condiciones de extracción reportadas para Soxhlet

BIBLIOGRAFIA	CRITERIOS			
	Temperatura (°C)	Relación solvente/extracto	Tiempo (h)	Rendimiento
Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina.	50-75	1:10	No registra	No registra
Estudio comparativo de métodos de extracción, en la obtención de extractos promisorios con actividad larvicida contra el mosquito <i>Culex quinquefasciatus</i> , a partir de residuos frutícolas.	37	No registra	4	0.8
Estudio de tintes naturales, extraídos de frutos locales, utilizados en la fabricación de celdas solares sensibilizadas ("Dye Sensitized Solar Cells" DSSC).	60-80	1:2 y 1:5	7	No registra

Nota. Se presentan las condiciones reportadas de extracción de diversos autores, con el fin de obtener los datos teóricos de extracción a implementar en el presente trabajo.

2.5 Extracción de flavonoides a partir del método de fluidos supercríticos

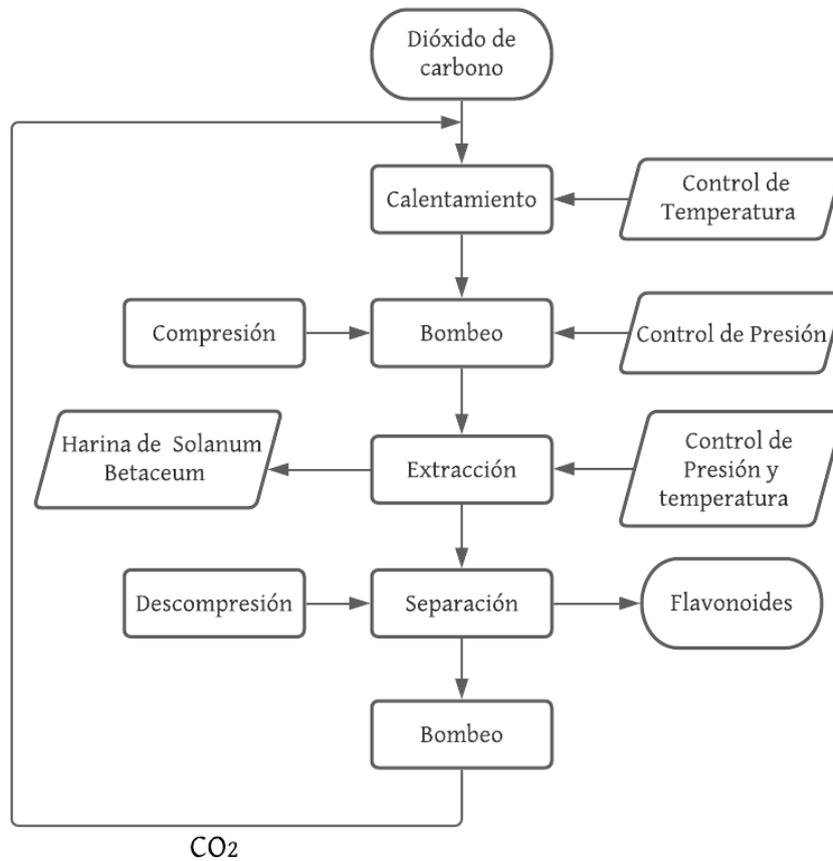
«La extracción se lleva a cabo bajo cuatro etapas generales, la primera es un ajuste de temperatura mediante resistencias que aportan energía térmica, el solvente previamente escogido se calienta hasta elevarlo por encima de su temperatura crítica. La segunda etapa es un proceso de presurización en la que el disolvente ya calentado llega a un valor superior a su presión crítica. La tercera etapa es la fase de extracción y el fluido ya en las condiciones deseadas permanece en contacto con la muestra que lleva consigo el soluto. Por último, queda la etapa de separación, aquí el gas se descomprime por debajo de su presión crítica dejando al soluto libre en el recipiente del equipo. » [17]

En la siguiente sección correspondiente a la metodología se puede observar el diagrama del proceso de extracción correspondiente a fluidos supercríticos (ver **figura 10**).

2.5.1 Metodología

Figura 10.

Diagrama de la metodología del proceso de extracción mediante fluidos supercríticos



Nota. Extracción de flavonoides a partir del epicarpio de *solanum betaceum* mediante fluidos supercríticos (CO_2). La materia prima suministrada al proceso de extracción por fluidos supercríticos fue sometida a una preparación previa mencionada en el capítulo dos, sección 2.3.1.

2.5.2 Condiciones de extracción EFS reportada

A continuación, se pueden observar las condiciones de flujo, temperatura, entre otros reportadas por diversos autores para fluidos supercríticos (ver **tabla 10**).

Tabla 10.

Condiciones de extracción reportadas para fluidos supercríticos

BIBLIOGRAFIA	CRITERIOS				
	Codisolvente	Flujo (kg/h)	Presión (MPa)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
Evaluación del efecto protector contra la oxidación lipídica de fracciones obtenidas a partir del epicarpio de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Sendtn).	(CO ₂ /EtOH)	0.50 ± 0.05	30	50 ± 1	3.5
Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina.	No registra	No registra	10	40-60	No registra

Nota. En la anterior tabla se evidencia las condiciones de extracción de fluidos supercríticos reportadas del tomate de árbol, en las que se encuentran los criterios de Codisolvente, flujo de estos, presión a la que se debe manejar el proceso, la temperatura y el tiempo de extracción.

2.6 Determinación de la capacidad antioxidante

Para determinar la capacidad antioxidante se puede realizar a través de dos métodos, el método de DPPH y el ABTS.

En la **tabla 11** se evidencian las condiciones de la capacidad antioxidante a través de DPPH reportadas por varios autores.

Tabla 11.

Actividad antioxidante mediante el método de DPPH

BIBLIOGRAFIA	DPPH
Evaluación de compuestos con actividad biológica en cáscara de camu camu, guinda, tomate de árbol y carambola. cultivadas en Perú.	<ul style="list-style-type: none"> • El radical DPPH fue disuelto en etanol al 95% • Se usó 515 nm como la longitud de onda máxima. • La concentración del radical DPPH, en el medio de la reacción, se calculó mediante regresión no lineal a partir de una curva de calibración, extracto vs la concentración del DPPH radical. • Los cromatogramas correspondientes fueron recogidos a 370 nm.” • 846.95±21.17 [18]
Alimentos ricos en flavonoides y sus beneficios a la salud.	<ul style="list-style-type: none"> • “solución 1 mM de DPPH en etanol al 95 %. • Las reacciones fueron usando 50 L de la muestra confrontada con 950 L del radical DPPH a 100 M. • Se monitoreó durante 30 minutos a intervalos de 5 minutos a 515 nm. <p>Capacidad Antioxidante de Flavonoides (µmol Trolox/g peso fresco) Frescos: 0.165±0.008” [19]</p>
Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina.	<p>“(µmol Trolox/g peso fresco)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cáscara (var. amarilla) 22±4 • (var. roja) 40±3 • Pulpa (var. amarilla) 2.3±0.1 • (var. roja) 3±0.4 • Semillas (var. amarilla) 3.8±0.6 • (var. roja) 9.3±0.4” [20]
Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i>) (Cav.) Sendtn.	<ul style="list-style-type: none"> • “165g pulpa/g DPPH • EC50(g/g DPPH) que es la concentración de pulpa necesaria para atrapar 50% de los radicales libres DPPH expresada en g pulpa/g DPPH. • 165.00±13.00” [21]

Tabla 11. Continuación

<p>Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • “Se pesó 2.5 gramos de muestra y se añadió 12.5 mL de metanol • Se homogenizó la muestra con un agitador magnético durante 15 minutos y se almacenó el extracto durante 24 horas a 4°C en oscuridad • Se procedió a centrifugar el homogenizado durante 20 minutos a 5000 rpm. • Se tomaron alícuotas del extracto obtenido 150 mL. • <ul style="list-style-type: none"> • 853±52 g equivalente trolox/g de tejido” [22]
<p>Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum Cav.</i>).</p>	<p>“μmol trolox/g muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pulpa Hidrofílica 3.3172 + 0.90 • Néctar Hidrofílica 1.3803 + 2.08” [23]
<p>Efecto de la deshidratación sobre la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la pulpa concentrada de tomate de árbol morado (<i>Solanum betaceum</i>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • “Para la determinación se añadió la cantidad establecida de muestra y etanol, a 1000 μL de DPPH. • La mezcla se homogenizó en vortex y reposo en la oscuridad, previo a la medición de la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro Génesis 20-Thermo Spectronic. (μmol TEAC/g tejido) • Sin previa concentración 116.87 0.37 116.88Con previa concentración 112.12 ± 0.81” [24]

Nota. En la anterior tabla se evidencia la capacidad antioxidante de diversas variedades de tomate de árbol a partir de la cáscara, pulpa, semilla y néctar, a través del método DPPH y medido en μmol trolox/g muestra y g equivalente Trolox/g de tejido. La capacidad para secuestrar los radicales DPPH está en función al contenido del principio activo presente en cada muestra.

En la **tabla 12** se evidencian las condiciones de la capacidad antioxidante a través de ABTS reportadas por varios autores.

Tabla 12.

Actividad antioxidante a través de método de ABTS

BIBLIOGRAFÍA	ABTS
Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.	<ul style="list-style-type: none"> • «Se pesó 2.5 gramos de muestra y se añadió 12,5 mL de metanol • Se homogenizó la muestra con un agitador magnético durante 15 minutos y se almacenó el extracto durante 24 horas a 4°C en oscuridad • Se procedió a centrifugar el homogenizado durante 20 minutos a 5000 rpm. • Se tomaron alícuotas del extracto obtenido 150 mL. • 838±35 g equivalente Trolox/g de tejido» [22].
Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (<i>cyphomandra betacea s.</i>) en pos cosecha.	<ul style="list-style-type: none"> • “Se tomó 1 mL de muestra y se adicionaron 4 mL de la solución del radical ABTS. • Se realizó una curva patrón preparando varias concentraciones entre 0 µM y 18 µM. • Se leyó absorbancia después de 30 min a una longitud de onda de 734 nm • 9.81 µmol de Equivalentes Trolox/g” [25]
Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (<i>solanum betaceum cav.</i>)	<p>µmol Trolox/g muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pulpa Hidrofílica 3.9811 + 2.69 Lipofílica 0.67394 + 0.58 • Néctar Hidrofílica 1.6833+0.95 Lipofílica 0.3172 + 0.69” [23]
Efecto de la deshidratación sobre la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la pulpa concentrada de tomate de árbol morado (<i>solanum betaceum</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • “Para la determinación se añadió 20 µL del extracto a 1000 µL de la dilución del radical. • La mezcla se homogenizó en un vortex y reposó 6 min previo a la lectura de su absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro. (µmol Trolox/100 g muestra) • Sin previa concentración 55.32 ± 14.25 • Con previa concentración 147.92 ± 11.18” [24]

Tabla 12. Continuación

Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante en fibra dietética extraída de cultivos ancestrales andinos para su utilización como suplemento alimenticio.	<ul style="list-style-type: none">• “Se preparó una curva de calibración con Trolox, que es el estándar internacional para actividad antioxidante, para lo cual primero se partió una solución patrón de Trolox a 5000 μM.• Se pesó 0.125g de reactivo Trolox y se aforó a 100 mL.• Se tomaron 1000 μL del reactivo catión radical ABTS+ y se lo colocó en cada una de las cubetas.• Posteriormente se tomaron 10 μL del extracto.• capacidad antioxidante a un nivel de confianza del 95% 11433.72 mg de Trolox/g” [26]
---	--

Nota. En la anterior tabla se evidencia la capacidad antioxidante de diversas variedades de tomate de árbol a partir de la cáscara, pulpa, semilla y néctar, a través del método ABTS y medido en μmol Trolox/g muestra y g equivalente Trolox/g de tejido. El ensayo de decoloración ABTS se puede aplicar en antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos.

Los métodos más usados para la capacidad antioxidante de frutos y plantas son a través de los radicales DPPH y ABTS. Con el ABTS se puede evaluar la actividad de compuestos hidrofílicos y lipofílicos, mientras que el DPPH solo se puede usar en medio orgánico. Según Repo R. y Encina C. 2008, en el estudio “Determinación de la actividad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev. Soc. Quim. Perú”, el radical ABTS tiene además la ventaja de que su espectro presenta máximos de absorbancia a 414, 654, 754 y 815 nm en medio alcohólico, mientras que el DPPH presenta un solo pico de absorbancia a 515 nm.

Al realizar la comparación con los estudios expuestos previamente sobre la determinación de la capacidad antioxidante a través de los métodos DPPH y ABTS, se puede evidenciar que la capacidad antioxidante, medida con el radical DPPH, mostró capacidades bajas a pesar de que la actividad antioxidante es dependiente de la concentración del extracto. Adicionalmente, el tiempo de medida necesario para realizar las medidas de DPPH es entre 30 y 60 minutos en comparación con el método ABTS que está entre 1 y 20 minutos. Esto es una desventaja a la hora de aplicar el método DPPH ya que incurre en un costo más elevado.

2.7 Uso potencial de los extractos obtenidos

El extracto obtenido de flavonoides está conformado por antocianinas y quercetina en menor proporción. Las antocianinas son pigmentos vegetales de color azulados, rojos oscuro o

morado, que contienen las plantas; la quercetina también es un pigmento presente en plantas y alimentos.

Las antocianinas son de interés particular para la industria de colorantes alimenticios debido a su capacidad de impartir colores atractivos, esto se debe a que las antocianinas dependen de varios factores intrínsecos, como:

«los sustituyentes químicos que contenga y la posición de los mismos en el grupo flavílico; por ejemplo, si se aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensifica el color azul, mientras que la introducción de metoxilos provoca la formación del color rojo. La incorporación de antocianinas como colorantes alimenticios, además de mejorar la apariencia total, son muy benéficas para nuestra salud. Diversos estudios presentan evidencia científica que los extractos ricos en antocianinas pueden mejorar la agudeza visual, mostrar actividad antioxidante, atrapar radicales y actuar como agentes quimio protectores» [27].

“El uso de quercetina con el fin de colorante alimentario, se aprobó en 1977 por el Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) de la FAO/WHO” [28]. Este colorante natural se utiliza a menudo como una ayuda al bienestar intestinal. Esto se debe a que este colorante ha sido utilizado como antioxidante por más de 30 años, ya que este posee un grupo OH fenólico que está presente en los flavonoides. Este grupo fenólico aumenta el efecto antioxidante a medida que aumenta el número de grupos OH, este flavonoide en forma de colorante alimenticio protege las múltiples grasas saturadas del cuerpo y promueve la absorción de minerales y vitaminas, así mismo la quercetina protege antioxidantes como vitamina E o vitamina C. Por lo tanto, se puede decir que este colorante natural es excelente para su propia purificación.

La elaboración y formulación de alimentos enriquecidos pueden llegar a ser una vertiente relevante para el desarrollo de alimentos funcionales donde los flavonoides o la mezcla de estos abren una nueva perspectiva para la obtención de productos coloreados con valor agregado para el consumo humano; estos compuestos que son de gran relevancia pueden llegar a ese valor agregado mediante la implementación de nanotecnología.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

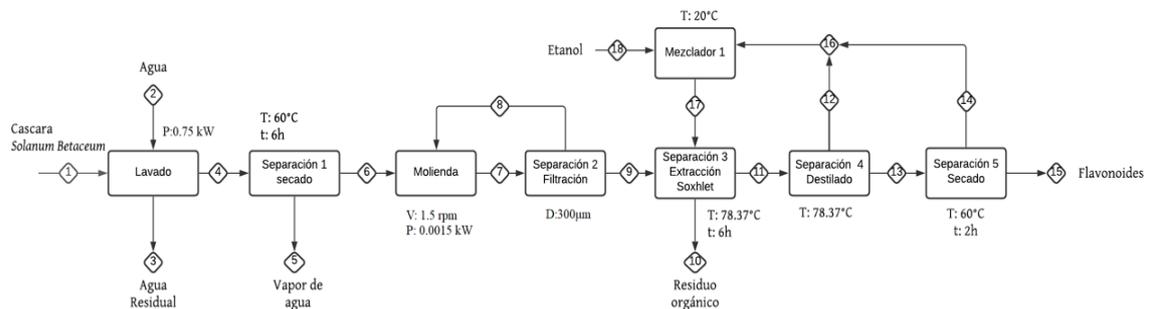
Es la primera de las diferentes fases del proceso que conlleva crear un producto [29]. El diseño es un proceso complejo de búsqueda, alternativas y definición material de las mismas. A continuación, desarrolla el diseño conceptual básico para el proceso de extracción de flavonoides a partir de residuos de la cáscara de tomate de árbol, teniendo como base el método seleccionado en el capítulo anterior. El diseño abarcará el diagrama de bloques del proceso, así como los balances de materia global y de cada operación unitaria y finalmente las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados.

3.1 Diagrama de bloques

En la **figura 11** se observa el correspondiente diagrama de bloques para el proceso de extracción de flavonoides a partir de la cáscara del tomate de árbol.

Figura 11.

Diagrama de bloques para el proceso de extracción de flavonoides

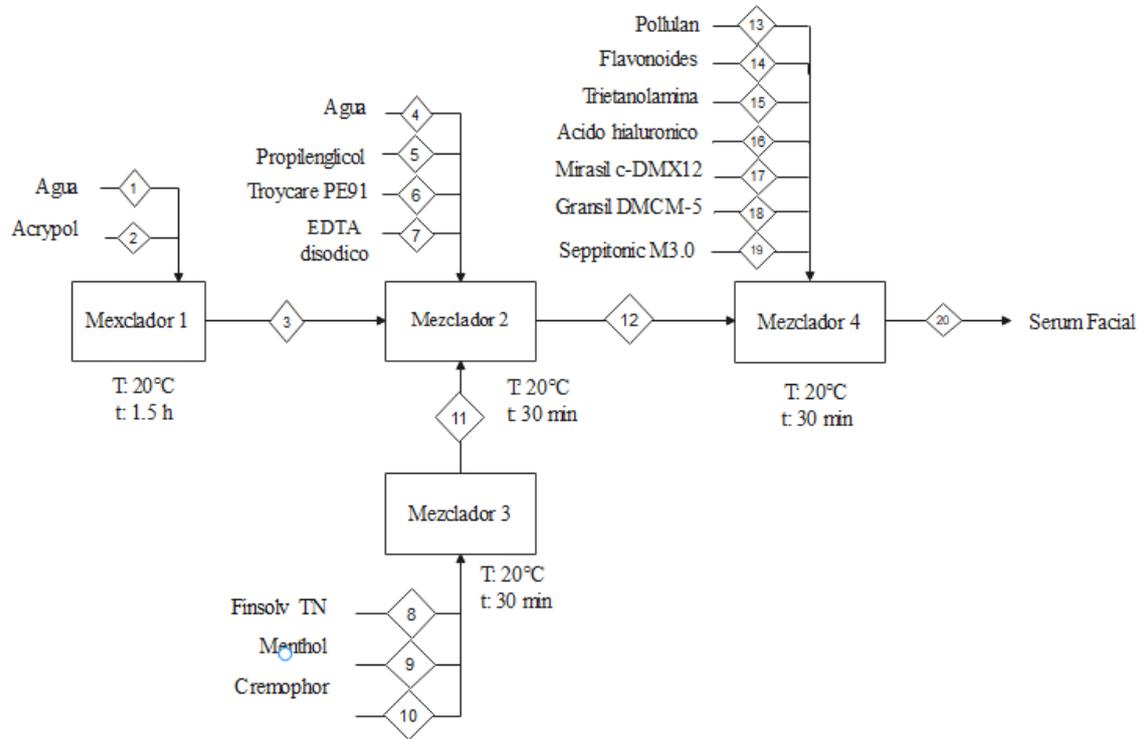


Nota. Se elabora un diagrama de bloques teniendo en cuenta una base de cálculo de 54 kg/día de materia prima (*Solanum betaceum*), con la finalidad de extraer flavonoides y darle un valor agregado mediante la elaboración de un sérum facial.

De igual forma en la **figura 12** se evidencia el correspondiente diagrama de bloques para la propuesta de elaboración del sérum facial a partir de la debida extracción de los flavonoides.

Figura 12.

Diagrama de bloques para el proceso de elaboración de sérum facial



En la **tabla 13** se presentan los compuestos utilizados para poder elaborar un sérum facial, así como su función dentro del proceso.

Tabla 13.*Descripción de los componentes del sérum facial*

COMPONENTES	INCI NAME	FUNCIÓN
Agua desionizada	Aqua	Vehículo
Acrypol	Carbomer	Viscosidad
Propilenglicol	Propylene Glycol	Humectante
EDTA disodico	Disodium EDTA	Secuestrante
Cremophor	PEG-40 Hydrogenated Castor Oil	Solubilizante
Mirasil C-DMX 12	Cyclopentasiloxane (and) Dimethicone Crosspolymer	Silicona crosspolymer
Sepitonic M3.0	Magnesium Aspartate (and) Zinc Gluconate (and) Copper Gluconate	Multimineral
Gransil DMCM-5	Dimethicone (and) Cyclopentasiloxane (and) Polysilicone-11	Matificante
Tea	Triethanolamine	Viscosidad
Menthol	Menthol	Refrescante
Troycare PE91	Phenylpropanol (and) Ethylhexylglycerin	Preservante
Ácido Hialurónico	<i>Hyaluronic Acid</i>	Anti-edad
Finsolv TN	C12-15 Alkyl Benzoate	Emoliente
Pullulan	Pullulanp	Reafirmante

Nota. Componentes que conforman un sérum facial según datos brindados por la empresa de productos de belleza “cosméticos Ana María”.

3.1.1 Especificaciones del proceso

Se plantea el diseño conceptual para una planta piloto con una capacidad 54 kg/día, equivalente a 18 ton/año, a partir de residuos de epicarpio del tomate de árbol, con el fin de poder extraer los flavonoides presentes en este. Se inicia con un proceso de lavado, donde la cantidad requerida de agua se condiciona con respecto al equipo de lavado. Adicionalmente se considera que la cáscara es proporcionada por la empresa Toysa Foods; esta empresa brinda el epicarpio de tomate de árbol libre de la presencia de pulpa que pueda llegar a afectar el rendimiento de extracción de flavonoides

Las condiciones de secado y el tiempo requerido se condicionan al con el fin de tener una humedad del 0.5% [30], mediante aire caliente a una temperatura de 60°C y 6 horas de duración; seguido a esto se procede al proceso de molienda y tamizado, donde se tiene en cuenta el tamaño de partícula óptima para ser dirigido al proceso de extracción, estos dos procesos generan pérdidas que son despreciables.

Para el proceso de extracción se establece una relación de soluto y solvente correspondiente a 1:6 [31]. El solvente seleccionado es el etanol debido a su baja toxicidad, bajos costos como materia prima, es biodegradable, es ideal para la obtención de compuestos fenólicos en muestras vegetales y su afinidad hacia el enfoque cosmético. (**ver anexo 1**).

Para obtener la mezcla de flavonoides (Quercetina y antocianinas), finalmente se realiza una destilación flash, seguido de una evaporación, que permite separar mediante la diferencia de volatilidades los compuestos más volátiles de los menos volátiles, con el fin de poder separar el solvente, y así mismo poder hacer una recirculación del mismo.

La mezcla de flavonoides extraída anteriormente se implementa en la elaboración de un producto final (sérum facial), este consta de tres tanques de agitación, donde el primero de ellos se le adiciona agua y poco a poco se agrega acrypol con una agitación suave durante una hora y treinta minutos, para que este se hidrate; simultáneamente se encuentran en operación un segundo y tercer tanque. En el segundo tanque se adiciona agua en exceso, EDTA disodico, propilenglicol y troycare PE-91, mediante agitación constante durante treinta minutos; en el tercer tanque se disuelve menthol y finsolv TN en cremophor mediante agitación suave durante treinta minutos, ya obtenida esta disolución este es adicionado en el segundo tanque.

Al terminar la hora y treinta minutos del primer tanque, este es adicionado al segundo tanque con agitación hasta completa homogeneidad; seguido a esto se adiciona seppitonic M3.0, gransil DMCM-5, flavonoides extraídos, ácido hialuronico y pollulan con agitación después de cada adición; se adicionar poco a poco con agitación suave el mirasil C-DMX12 hasta completa homogeneidad, ya obtenida una completa homogeneidad se adiciona poco a poco la trietanolamina para que esta le dé una mayor viscosidad, con el fin de obtener un sérum facial.

3.2 Balance de materia

3.2.1 Balance de masa para extracción de flavonoides

3.2.1.a Balance global. A continuación, se presentan los correspondientes balances de masa para cada proceso iniciando con el balance global de materia como se observa en la **figura 13**.

Figura 13.

Balance global de materia del proceso de extracción de flavonoides



Nota. Balance global de materia del proceso de extracción de flavonoides.

Ecuación 1. Balance global

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_{18} = \dot{m}_3 + \dot{m}_5 + \dot{m}_{10} + \dot{m}_{15} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.b Balance de materia para el proceso de lavado. En la **figura 14** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de lavado.

Figura 14.

Balance global de materia del proceso de lavado



Nota. Balance global de materia del proceso de lavado en la extracción de flavonoides.

Ecuación 2. Balance de materia en el lavado

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.d Balance de materia para el proceso de secado. En la **figura 15** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de secado.

Figura 15.

Balance global de materia del proceso de secado



Nota. Balance global de materia del proceso de secado en la extracción de flavonoides.

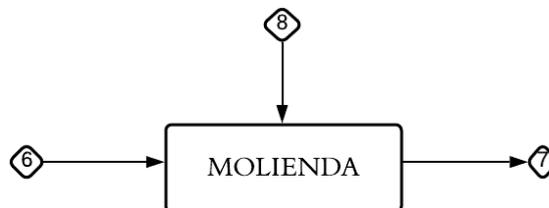
Ecuación 3. Balance de materia en el secado

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.e Balance de materia para el proceso de molienda. En la **figura 16** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de molienda.

Figura 16.

Balance global de materia del proceso de molienda



Nota. Balance global de materia del proceso de molienda en la extracción de flavonoides.

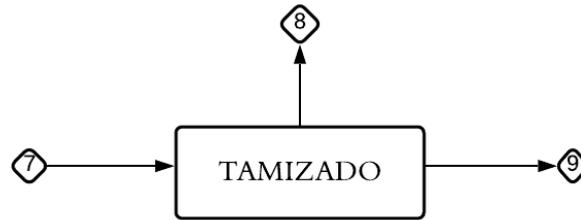
Ecuación 4. Balance de materia en la molienda

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_8 = \dot{m}_7 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.f Balance de materia para el proceso de tamizado. En la **figura 17** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de tamizaje.

Figura 17.

Balance global de materia del proceso de tamizado



Nota. Balance global de materia del proceso de tamizado en la extracción de flavonoides.

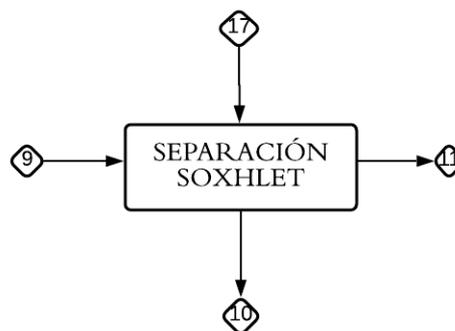
Ecuación 5. Balance de materia en el tamizado

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.g Balance de materia para el proceso de extracción Soxhlet. En la **figura 18** se puede observar el balance de materia correspondiente a la extracción mediante Soxhlet.

Figura 18.

Balance global de materia del proceso de extracción Soxhlet



Nota. Balance global de materia del proceso de extracción Soxhlet.

Ecuación 6. Balance de materia en la extracción

$$\dot{m}_9 + \dot{m}_{17} = \dot{m}_{10} + \dot{m}_{11} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.h Balance de materia para el proceso de destilación. En la **figura 19** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de destilación.

Figura 19.

Balance global de materia del proceso de destilación



Nota. Balance global de materia del proceso de destilación en Soxhlet.

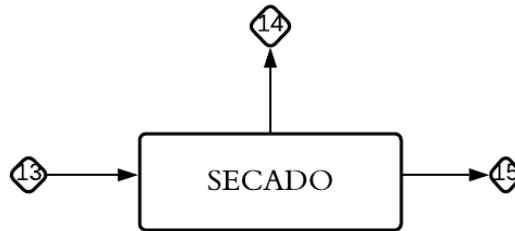
Ecuación 7. Balance de materia en la destilación

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.i Balance de materia para el proceso de secado final. En la **figura 20** se puede observar el balance de materia correspondiente al segundo secado.

Figura 20.

Balance global de materia del proceso de secado final.



Nota. Balance global de materia del proceso de secado a través de Soxhlet.

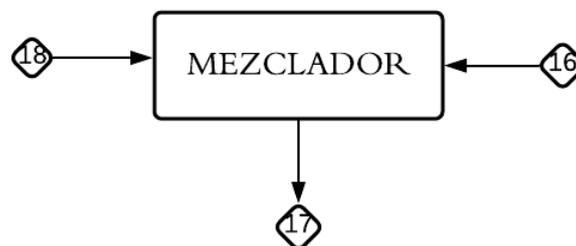
Ecuación 8. Balance de materia en el secado final

$$m_{13} = m_{14} + m_{15} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.1.J Balance de materia para el proceso de mezclado. En la **figura 21** se puede observar el balance de materia correspondiente a la fase de mezclado de etanol.

Figura 21.

Balance global de materia del proceso de mezclado de etanol



Nota. Balance global de materia del proceso de mezcla de etanol.

Ecuación 9. Balance de materia en el mezclador

$$m_{18} + m_{16} = m_{17} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

En la **tabla 14** se presentan las corrientes del balance de materia, con su correspondiente valor en kg/h, de igual forma están indicadas en el diagrama de bloques.

Tabla 14.

Balance de materia en el proceso de extracción de flavonoides

Corriente	Descripción	Valor kg/día
1	Cascara de Solanum Betaceum	54.00
2	Agua	150.00
3	Agua Residual	150.00
4	Cascara de Solanum Betaceum	54.00
5	Vapor de agua	0.57
6	Cascara de Solanum Betaceum	53.43
7	Harina de Solanum Betaceum	53.97
8	Harina de Solanum Betaceum	0.53
9	Harina de Solanum Betaceum	53.43
10	Residuo Orgánico	197.48
11	Etanol y flavonoides	108.88
12	Etanol	106.20
13	Flavonoides	2.67
14	Etanol	0.027
15	Flavonoides	2.64
16	Etanol	106.23
17	Etanol	146.70

Nota. La presente tabla representa el balance de materia para la obtención de 48.87 kg de flavonoides, tomando como referencia una hoja de cálculo de 54 kg de epicarpio de *Solanum Betaceum*.

3.2.2. Balance de materia para elaboración de sérum facial

3.2.2.a Balance de materia para el proceso de mezclado 1. En la **figura 22** se puede observar el balance global de materia correspondiente al proceso de la producción del sérum facial para el mezclador 1.

Figura 22.

Balance global de materia del proceso de mezclado 1



Nota. Balance global de materia del proceso de mezcla 1 en el sérum facial.

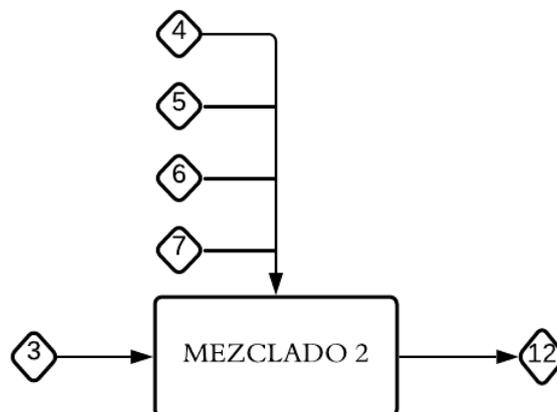
Ecuación 10. Balance de materia en el mezclador 1.

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.2.b Balance de materia para el proceso de mezclado 2. En la **figura 23** se puede observar el balance global de materia correspondiente al proceso de la producción del sérum facial para el mezclador 2.

Figura 23.

Balance global de materia del proceso de mezclado 2



Nota. Balance global de materia del proceso de mezcla 2 en el sérum facial.

Ecuación 11. Balance de materia en el mezclador2

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 + \dot{m}_7 = \dot{m}_{12} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.2.c Balance de materia para el proceso de mezclado 3. En la **figura 24** se puede observar el balance global de materia correspondiente al proceso de la producción del sérum facial para el mezclador 3.

Figura 24.

Balance global de materia del proceso de mezclado 3



Nota. Balance global de materia del proceso de mezcla 3 en el sérum facial.

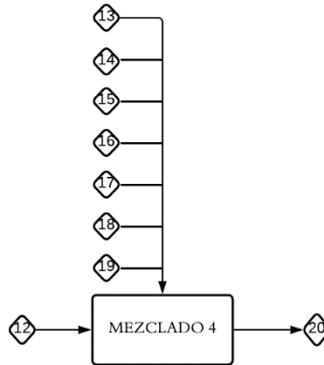
Ecuación 12. Balance de materia en el mezclador 3

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_9 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.2.2.d Balance de materia para el proceso de mezclado 4. En la **figura 25** se puede observar el balance global de materia correspondiente al proceso de la producción del sérum facial para el proceso final de mezclado.

Figura 25.

Balance global de materia del proceso de mezclado 4



Nota. Balance global de materia del proceso de mezcla 4 en el sérum facial.

Ecuación 13. Balance de materia en el mezclador 4

$$\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15} + \dot{m}_{16} + \dot{m}_{17} + \dot{m}_{18} + \dot{m}_{19} = \dot{m}_{10} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

En la **tabla 15** se presenta el balance de materia para el proceso de la elaboración del sérum facial con las correspondientes corrientes, su descripción y el valor de cada una de ellas en kg/h.

Tabla 15.*Balance de materia para el proceso de obtención de sérum facial*

Corriente	Descripción	Valor en kg/h
1	Agua desionizada	41.43
2	Acrypol	1.20
3	Agua + Acrypol	42.63
4	Agua desionizada	41.43
5	Propilenglicol	2.00
6	Troycare PE91	0.60
7	EDTA disodico	0.10
8	Finsolv TN	0.50
9	Menthol	0.05
10	Cremophor	1.50
11	Finsolv+Menthol+Cremophor	2.05
12	Agua+Propilenglicol+EDTA+Troycare	44.13
13	Pullulan	5.00
14	Flavonoides	0.50
15	Tea	1.20
16	Ácido Hialuronico	1.00
17	Mirasil C-DMX 12	1.00
18	Gransil DMCM-5	1.00
19	Sepitonic M3.0	1.50
20	Sérum Facial	100.00

Nota. La presente tabla representa el balance de materia para la obtención de 100 kg de sérum facial, teniendo en cuenta la implementación de los flavonoides extraídos.

3.3 Diagrama de Gantt

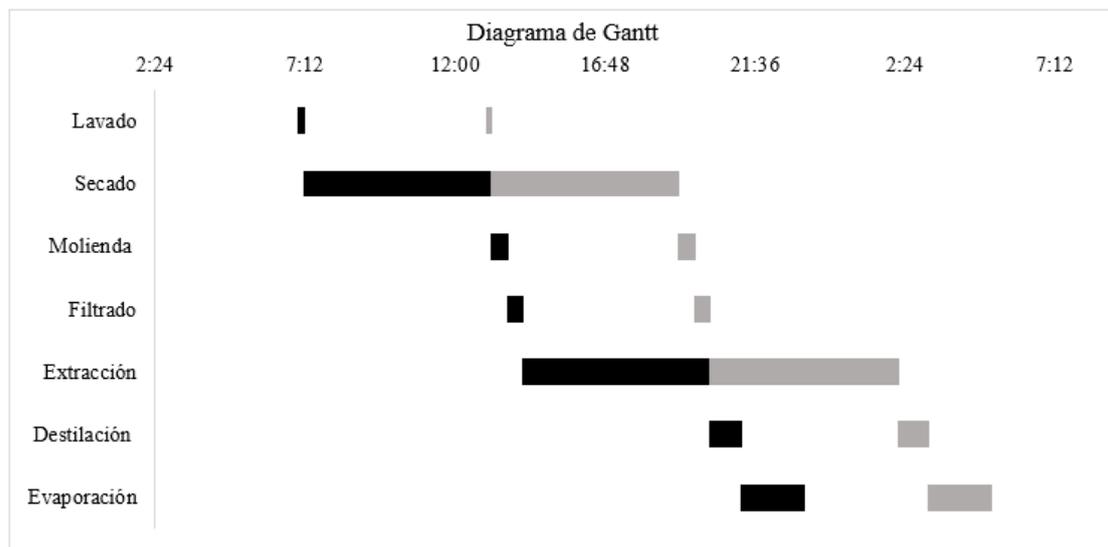
Se realiza el diagrama de Gantt con el fin de observar los componentes básicos que lleva el proceso de extracción de flavonoides a partir de residuos de tomate de árbol para así poder planificar los respectivos procesos que se llevaran a cabo. Esta herramienta fue creada para establecer la relación entre el tiempo y carga de trabajo.

Para llevar a cabo el desarrollo de este diagrama se tiene en cuenta el libro “Batch Processes” publicado por los autores Ekaterini Korovessi y Andreas A. Linninger en el año 2006 [32]. Esta bibliografía nos indica la mejor forma de ilustrar los tipos de operaciones con un tiempo más óptimo, así mismo permite identificar el proceso que representa el cuello de botella y permite obtener un producto de interés en tiempos de procesamiento más corto y eficientes.

En la **figura 26** se lleva a cabo la elaboración del diagrama de Gantt para el proceso de extracción de flavonoides; para ello se tiene en cuenta una base de cálculo de 54 kg/día de cascara de *Solanum Betaceum* suministrada por la empresa Toysa Foods, esto con el fin de llegar a obtener 2,6 kg de flavonoides por día en tiempos de producción más cortos.

Figura 26.

Diagrama de Gantt para el proceso de extracción de flavonoides a partir de residuos de cascara del tomate de árbol



Nota. Diagrama de Gantt para el proceso de extracción de flavonoides a partir de residuos de cascara del tomate de árbol.

En la **figura 26** se pueden observar los tiempos de operación de cada proceso, evidenciando la totalidad de dos lotes de producción, esto equivalente a una corriente de entrada a cada lote de 27 kg, con el fin de suplir los 54 kg/días mencionados en la **sección 3.1.1** que se deben llevar a cabo, así mismo se evidencia que el proceso de secado y extracción son los procesos más prolongados que operan de manera continua, reflejando así el uso de más de un equipo en paralelo. El diagrama de Gantt es de suma importancia ya que este brinda la información pertinente que se debe llevar a cabo para la selección de equipos del presente diseño conceptual.

3.4 Selección de equipos

3.4.1 Proceso de lavado

La lavadora de vegetales Ref. LFMXQ2500 cuenta con un lavado por aspersión, permitiendo separar e interceptar las impurezas que presente la cáscara de tomate de árbol, cabe mencionar que teniendo en cuenta la **figura 26**, es necesario implementar dos equipos de lavado que permitan suplir los 54 kg de materia prima al día y adicionalmente se debe tener en cuenta 150 kg de agua que serán utilizados para este proceso (ver **figura 27**).

Figura 27.

lavadora de vegetales LFMXQ2500



Nota. Limpiadora de frutas y verduras LFMXQ2500. Tomado de: Alibaba. “Limpiadora de frutas, lavadora de frutas y verduras con ozono”. [En línea]. Disponible: https://www.alibaba.com/product-detail/Fruit-Cleaner-Ozone-Fruit-and-Vegetable_1631390310.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.589d21berkud1b&s=p

A continuación, se presenta el dimensionamiento de la lavadora (ver **tabla 16**).

Tabla 16.

Características de la lavadora LFMXQ2500

Características	Valor	Unidad
Dimensiones	2,725 x 1,563 x 1,328	mm
Capacidad de producción	100 a 300	kg/h
Peso	419	kg
Poder de la bomba	2.2	kW
Recirculación de agua	100	L

Nota. En la anterior tabla se evidencian las características de operación de la limpiadora de frutas y verduras LFMXQ2500. Tomado de: Alibaba. “Limpiadora de frutas, lavadora de frutas y verduras con ozono”. [En línea]. Disponible: https://www.alibaba.com/product-detail/Fruit-Cleaner-Ozone-Fruit-and-Vegetable_1631390310.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.589d21berkud1b&s=p

3.4.2 Proceso de secado

Horno de deshidratador de frutas 15 bandejas, para deshidratado industrial de frutas y hierbas aromáticas, construido totalmente en acero inoxidable con un exclusivo sistema de calentamiento por aire forzado que garantiza un secado homogéneo. (ver **figura 28**).

Figura 28.

Horno deshidratador de frutas 15 bandejas



Nota. El horno deshidratador de frutas de la empresa Exhibir. Tomado de: Exhibir “Horno deshidratador de frutas 15 bandejas”. [En línea]. Disponible: <https://exhibirequipos.com/producto/horno-deshidrado-15-bandejas/>

A continuación, se presentan las características del horno secador. (ver **tabla 17**).

Tabla 17.

Características del horno de deshidratador de frutas 15 bandejas

Características	Valor	Unidad
Área de secado	4.38	m ²
Capacidad	87	kg
Dimensiones	63 x 85 x 220	cm
Consumo de energía	2.4	kW
Voltaje	110/220	V
Rango temperatura	15/70	°C

Nota. En la anterior tabla se evidencian las características de operación del horno de deshidratador de frutas 15 bandejas. Tomado de: Exhibir “Horno deshidratador de frutas 15 bandejas”. [En línea]. Disponible: <https://exhibirequipos.com/producto/horno-deshidrado-15-bandejas/>

3.4.3 Proceso de molienda

Se podría implementar el molino pulverizador referencia 10134 de la distribuidora Imarca C.A. Fabricado en acero inoxidable y este permite pulverizar todo tipo de grano, hiervas y alimentos secos (ver **figura 29**). Cabe mencionar que teniendo en cuenta la **figura 26**, es necesario implementar dos equipos de molienda que permitan suplir los 54 kg de materia prima al día.

Figura 29.

Molino referencia 10134



Nota. El molino referencia 10134 pertenece de la distribuidora Imarca C.A. Tomado de: Imarca C.A “Molino pulverizado Ref. 10134”. [En Línea]. Disponible: <http://imarca.com.ve/Molino-pulverizador.php>

A continuación, se presentan el dimensionamiento del molino pulverizador (ver **tabla 18**).

Tabla 18.

Características del molino Ref. 10134

Características	Valor	Unidad
Potencia	0.0015	kW
Capacidad	20-40	kg/h
Dimensiones	75x34x37	cm
Velocidad del eje	1.5	rpm
Peso	33	kg

Nota. El molino referencia 10134 pertenece de la distribuidora Imarca C.A. Tomado de: Imarca C.A “Molino pulverizado Ref. 10134”. [En Línea]. Disponible: <http://imarca.com.ve/Molino-pulverizador.php>

3.4.4 Proceso de filtrado

El tamiz de la serie CY-600-1S, es el equipo ideal para tamizar los gránulos en diferentes tamaños, proporciones y para la entrega continua de materiales, se utiliza para la criba vibratoria de productos farmacéuticos, alimenticios, químicos granulados o en polvo (ver **figura 30**).

Figura 30.

Tamiz vibratorio CY-600-1S



Nota. El tamiz vibratorio CY-600-1S Tomado de: Alibaba. “Tamiz vibratorio CY-600-1S”. [En Línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-hot-animal-feed-additive-vibration-rotary-sieve-sifting-machine-for-powder-screening-sieving-and-separating-1600117748349.html?spm=a2700.themePage.feed.30.55d7233ddJbqz6>

A continuación, se presentan las características del tamiz (ver **tabla 19**).

Tabla 19.

Características del Tamiz vibratorio CY-600-1S

Características	Valor	Unidad
Numero de mesh	5-500	No registra
Capacidad	100	kg
Dimensiones	800 x 800 x 780	mm
Velocidad del eje	1370	rpm
Peso	150	kg
Potencia	0.55	kW

Nota. El tamiz vibratorio CY-600-1S Tomado de: Alibaba. “Tamiz vibratorio CY-600-1S”. [En Línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-hot-animal-feed-additive-vibration-rotary-sieve-sifting-machine-for-powder-screening-sieving-and-separating-1600117748349.html?spm=a2700.themePage.feed.30.55d7233ddJbqz6>

3.4.5 Proceso de extracción

Se podría utilizar un equipo Soxhlet a escala industrial, un extractor de esencia con capacidad superior a 100 L. El extractor es de la empresa Wenzhou Leno Machinery Co y consta de un material de acero inoxidable (ver **figura 31**). Cabe mencionar que teniendo en cuenta la **figura 26**, es necesario implementar dos equipos de extracción con una capacidad mínima de 200 L cada uno, que permitan suplir los 53,43 kg de harina de cáscara de *Solanum Betaceum* y los 253 kg de etanol al día.

Figura 31.

Extractor Soxhlet a escala industrial



Nota. extractor de esencias modelo LNT-7320 marca LENO, utilizado como extractor Soxhlet a escala industrial con capacidad entre 100L a 1200L, aplicable a extracción de aceite de aroma y recuperación de disolvente orgánico, etc. Tomado de: ALIBABA. “Extractor Soxhlet a escala industrial”. [En Línea]. Disponible:https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-price-stainless-steel-essence-extractor-62195016169.html?spm=a2700.gal%20leryofferlist.normal_offer.d_image.4%20bb27144zgIUUU

A continuación, se presentan las características del extractor Soxhlet a escala industrial. (ver **tabla 20**).

Tabla 20.

Características del extractor de esencias modelo LNT-7320 marca LENO

Características	Valor	Unidad
Capacidad	>200	L
Poder	2.5	kW
Voltaje	120-480	V

Nota. Esta tabla presenta las características de operación del extractor de esencias modelo LNT-7320 marca LENO. Tomado de: ALIBABA. “Extractor Soxhlet a escala industrial”. [En Línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-price-stainless-steel-essence-extractor-62195016169.html?spm=a2700.gal%20leryofferlist.normal_offer.d_image.4%20bb27144zgIUUU

3.4.6 Proceso de destilación

La destilación flash es un proceso de destilación que ocurre de manera instantánea o súbita. Se vaporiza inmediatamente una de las fases ocurriendo una separación instantánea, quedando los componentes más volátiles en la fase gaseosa y los más estables en la fase líquida. Usar un evaporador rotativo para este proceso sería una opción viable (ver **figura 32**). Cabe mencionar que teniendo en cuenta la **figura 26**, es necesario implementar dos equipos de destilación con una capacidad mínima de 100 L cada uno, que permitan suplir los 139 L (108.8 kg) de flavonoides de *Solanum Betaceum* y etanol al día.

Figura 32.

Destilación por rota vapor



Nota. evaporador de vacío rotativo hierba esencial destilador de aceite con capacidad de 100L de la marca TOPTION, modelo RE-52100A. Tomado de: ALIBABA. “100L industrial evaporador de vacío rotativo hierba esencial destilador de aceite”. [En línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/100l-industrial-rotary-vacuum-evaporator-herb-essential-oil-distiller-60761515106.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.79d847barvqMfw

A continuación, se presentan las características del rotavapor. (ver **tabla 21**).

Tabla 21.

Características del rota vapor TOPTION, modelo RE-52100A

Características	Valor	Unidad
Capacidad	100	L
Poder	0.75	kW
Voltaje	220	V
Peso	500	kg
Velocidad de rotación	0-120	rpm
Dimensiones	1700x830x2800	mm

Nota. Esta tabla presenta las características de operación del destilador rota vapor TOPTION, modelo RE.52100A. Tomado de: ALIBABA. “100L industrial evaporador de vacío rotativo hierba esencial destilador de aceite”. [En línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/100l-industrial-rotary-vacuum-evaporator-herb-essential-oil-distiller-60761515106.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.79d847barvqMfw

3.4.7 Proceso de secado 2.

«Los evaporadores al vacío son una de las tecnologías más eficaces para la minimización y tratamiento de residuos industriales líquidos en base acuosa. Es una tecnología limpia, segura, muy versátil y con un coste de gestión muy bajo. En muchísimos casos, además, nos puede llevar a la obtención de un sistema de tratamiento con vertido cero» [33].

Un evaporador al vacío se podría implementar en este proceso como se muestra en la **figura 33**. Cabe mencionar que teniendo en cuenta la **figura 26**, es necesario implementar dos equipos de evaporación con una capacidad de 2 L cada uno, que permitan suplir los 2.6 kg de flavonoides de *Solanum Betaceum*.

Figura 33.

Evaporador YWF-20S



Nota. Evaporador de película fina YWF-20S. Tomado de: Alibaba. “Evaporador de película fina de baja temperatura de funcionamiento, dispositivo con alta tasa de evaporación”. [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/low-operating-temperature-thin-film-evaporator-with-high-evaporation-rate-60596602725.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.7aa26359s2VcCi&s=p

En la **tabla 22** se especifican las características del evaporador.

Tabla 22.

Evaporador YWF-20S

Características	Valor	Unidad
Capacidad	2	L
Consumo energético	2	kW
Voltaje	220	V
Peso	116	kg

Nota. Evaporador de película fina YWF-20S. Tomado de: Alibaba. “Evaporador de película fina de baja temperatura de funcionamiento, dispositivo con alta tasa de evaporación”. [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/low-operating-temperature-thin-film-evaporator-with-high-evaporation-rate-60596602725.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.7aa26359s2VcCi&s=p

3.4.8 Proceso de mezclado para la producción de serúm facial

“Los tanques de mezcla o agitadores son depósitos industriales que se diseñan especialmente para la mezcla de dos o más sustancias en una o varias fases de proceso, pero sin generar ningún tipo de reacción química” [34] ver **figura 34**.

Figura 34.

Tanque de mezcla de etanol

[Corun](#)



Nota. Tanque de mezcla de etanol, GRST for ethanol storage tank. Tomado de: Alibaba “De etanol de acero inoxidable tanque de almacenamiento con fondo cónico”. [En línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-ethanol-storage-tank-with-conical-bottom-60779410419.html>

A continuación, se presentan las características del tanque de almacenamiento y mezclado. (ver **tabla 23**).

Tabla 23.

Tanque de almacenamiento y mezclado para etanol, modelo GRST

Características	Valor	Unidad
Capacidad	50-20	L/h-Ton/h
Presión	0.3-0.5	MPa
Material	SS304 o SS316	No registra
Peso	50-5000	kg
Consumo de energía	1.5	kW

Nota. Esta tabla presenta las características de operación de un tanque con agitación de etanol como efluente Tomado de: Alibaba “Etanol tanque de almacenamiento de tanque de mezcla de acero inoxidable”. [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-conical-fermenting-tanks-for-ethanol-plant-60584093487.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.cd4d2020C135dr

3.5 Análisis de costos por proceso

Un proceso a nivel industrial para mantenerse en el mercado debe ser rentable a nivel económico; es por esto que se analiza el diseño del proceso mediante este componente, con el fin de tener una base sobre el potencial económico del mismo.

Según el balance de masa descrito en la sección 5.1.2 la cantidad necesaria de solvente, con una relación 1:6 previamente establecida, es de 5,325 kg. El costo por litro de etanol es de \$21850 COP.

Se procesarán 54 kg/h de cáscara de tomate de árbol y se establece un tiempo de trabajo durante 28 días al mes. Por tanto, los costos de los servicios se tendrán en cuenta la duración de los equipos en uso y el tiempo de trabajo al mes. Estos tiempos de trabajo y valores de servicios se incluyen igualmente para el proceso de producción del sérum facial.

El precio de los equipos y servicios se muestran en las **tablas 24 y 25**, respectivamente.

Tabla 24.*Precio de equipos en pesos colombianos*

Equipo	Precio (COP)	Gravamen arancelario (%)	Precio final (COP)
Lavadora de vegetales Ref. LFMXQ2500	11,659,500	5	12,242,475
Horno de deshidratador de frutas 15 bandejas	9,850,000	No aplica	9,850,000
Molino pulverizador referencia 10134	4,230,600	0	4,230,600
Tamiz vibratorio CY-600-1S	2,526,225	0	2,526,225
Extractor Soxhlet a escala industrial	6,969,600	15	8,015,040
Rotavapor industrial	65,409,696	15	75,221,150.4
Evaporador de película fina	22,926,463	0	22,926,463
Tanque de mezcla de etanol, GRST	6,206,400	0	6,206,400
TOTAL	\$129,778,484	No aplica	\$141,218,353.40

Nota. La anterior tabla muestra los costos de los equipos a utilizar en la fase de extracción de los flavonoides en pesos colombianos.

Estos costos son tomados de cada una de las fuentes para cada proceso. Así como el gravamen arancelario fue tomado de la página de la DIAN para cada uno de los equipos.

La lavadora tiene un arancel de 5% [35], el horno deshidratador es fabricado por una empresa colombiana así que no aplica el arancel de importación, las máquinas que sirven para tamizar, pulverizar, separar o mezclar no tienen arancel es decir un 0% [36] y finalmente las maquinarias de extracción tienen un gravamen arancelario del 15% según la DIAN [37].

El precio de los servicios se calcula con el consumo de los equipos seleccionados. Para el mes de noviembre la empresa de acueducto de la ciudad de Bogotá cobra una tarifa fija de \$18,210.9 COP para el sector industrial. Para la tarifa de energía eléctrica se tomó como base el sector no residencial del nivel 1 propiedad del cliente industrial sin contribución. Los datos de las empresas proveedoras de servicios en la ciudad de Bogotá se encuentran en el **anexo 2**.

Tabla 25.

Precio de los servicios por unidad en pesos colombianos

Servicio	Unidad	Precio (COP)
Agua	\$/m ³	3,819.48
Luz	\$/kWh	505.8161

Nota. En la anterior tabla se presenta los costos de los servicios de luz y agua en la ciudad de Bogotá para el sector industrial en el año 2021, se puede evidenciar esta información en el anexo 2.

3.5.1 Costos del proceso de extracción de flavonoides

De acuerdo con la información suministrada en las **tablas 24 y 25**, así como el precio del solvente se calculan los costos fijos del proceso y el tiempo de uso de los equipos es el siguiente: para procesar 54 kg de cáscara de tomate de árbol se debe realizar en 2 lotes, para los cuales cada proceso de lavado dura 10 minutos, el proceso de secado dura 6 horas, los procesos de molienda y tamizado duran aproximadamente 30 minutos cada uno. La extracción dura 6 horas, la destilación dura 1 hora [38] y el secado final dura 2 horas [39].

En la **tabla 26 y 27** se describen los costos del servicio de agua y energía, los cálculos se encuentran en el **anexo 3**. Se debe tener en cuenta que estos costos se calculan con el tiempo de uso de los equipos.

Tabla 26.

Costos del servicio de agua para el proceso de extracción de flavonoides

Operación	Costo al día (COP)	Costo al mes (COP)
Lavado	1,145.84	50,294.53
Total	\$ 1,145.84	\$ 50,294.53

Nota. En la anterior tabla se evidencian los costos diarios y al mes del servicio del agua correspondientes al proceso de lavado para la extracción de flavonoides.

Tabla 27.

Costos del servicio de energía para el proceso de extracción de flavonoides

Operación	Costo al día (COP)	Costo al mes (COP)
Lavado	189.18	5,296.91
Secado	7,283.75	203,945
Molienda	0.38	10.62
Tamizado	139.09	3,894.78
Extracción	7,587.24	212,442.72
Destilación	379.36	10,622.08
Secado 2	2,023.26	56,651.40
Total	\$ 17,602.26	\$ 492,863.51

Nota. En la anterior tabla se evidencian los costos energéticos de cada uno de los equipos usados para el proceso de extracción de flavonoides con respecto a los tiempos de uso de cada uno diarios, así como los costos acumulados mensuales.

3.5.2 Costos del proceso de sérum facial

De acuerdo con la información suministrada en las **tablas 28 y 29** se calculan los costos fijos del proceso y el tiempo de uso de los equipos es el siguiente: primer tanque agitación suave durante una hora y treinta minutos, El segundo con agitación constante durante treinta minutos y el tercer tanque con agitación suave durante treinta minutos.

En la **tabla 28** se describen los costos del servicio de energía, los cálculos se encuentran en el **anexo 4**. Se debe tener en cuenta que los costos se calculan con respecto al tiempo de uso de los equipos.

Tabla 28.

Costos del servicio de energía para el proceso de sérum facial

Operación	Costo al día (COP)	Costo al mes (COP)
Tanque 1	1,138.09	31,866.52
Tanque 2	379.36	10,622.08
Tanque 3	379.36	10,622.08
TOTAL	\$ 1,896.81	\$ 53,110.68

Nota. En la anterior tabla se muestra los costos energéticos diarios y al mes correspondientes al proceso del sérum facial; los cálculos se encuentran en el **anexo 4**.

Tabla 29.*Costo de los componentes para la fabricación de sérum facial*

COMPONENTES	COSTO	UNIDAD
Agua desionizada	\$ 1,800.00	kg
Acrypol	\$ 9,697.00	Kg
Propilenglicol	\$ 54,000.00	kg
EDTA disodico	\$ 634,000.00	kg
Cremonphor	\$ 450,000.00	kg
Mirasil C-DMX 12	\$ 150,196.00	kg
Sepitonic M3.0	\$ 81,611.80	kg
Gransil DMCM-5	\$ 61,999.19	kg
Tea	\$ 24,260.00	kg
Menthol	\$ 400,000.00	kg
Troycare PE91	\$ 3,101.20	kg
Ácido Hialuronico	\$ 533,333.00	kg
Finsolv TN	\$ 38,790.00	kg
Pullulan	\$ 116,370.00	kg
TOTAL	\$ 2,559,158.19	No aplica

Nota. En la anterior tabla se presentan los costos Costo de los componentes para la fabricación de sérum facial correspondientes a 1 kg d cada componente.

4. CONCLUSIONES

La identificación de las propiedades fisicoquímicas del tomate de árbol son de suma importancia ya que estas brindan el contenido de humedad (70-80%) de todo el fruto, permitiendo obtener el porcentaje de humedad perteneciente a la cáscara del fruto (5,25%), esta resultó ser una de las variables más importantes debido al efecto contraproducente que genera sobre el proceso de extracción de flavonoides.

Mediante el estado del arte fue posible identificar la metodología apropiada para la extracción de flavonoides a partir de solventes orgánicos a través de la matriz de decisión de Pugh. Factores como tiempo de extracción, afinidad al soluto, costos de operación, temperatura y toxicidad fueron de gran importancia para seleccionar el método. La metodología seleccionada (Soxhlet) demostró ser apropiada, así como el solvente (etanol).

Se realizó el diseño conceptual del proceso de extracción de flavonoides a partir de la cascara de tomate de árbol proporcionada por la empresa TOYSA FOODS que proporciona 1.5 ton al mes de materia prima; a través de un diagrama de bloques con las especificaciones del proceso y selección de equipos, así como el balance de materia. Las condiciones de operación para este diseño fueron: alimentación de 54 kg de cáscara de tomate de árbol, etanol como disolvente y una relación de soluto: solvente 1:6. Del proceso se obtienen 2.6 kg de flavonoides.

Se realizó el diseño conceptual del proceso de producción de sérum a partir de los flavonoides de tomate de árbol extraídos del proceso anterior. Se realizó un diagrama de bloques con las especificaciones del proceso y selección de equipos, así como el respectivo balance de masa. Para este diseño se tomó de alimentación de 0.50 kg de flavonoides de tomate de árbol y del proceso se obtienen 100 kg de sérum facial.

El rendimiento para el proceso de extracción de flavonoides mediante solventes depende de la polaridad del disolvente, es por ello que se utiliza en el presente trabajo de grado el etanol como disolvente polar al ser un flavonoide altamente hidroxilado. La extracción Soxhlet en muestras frescas presenta un rendimiento promedio de 8.9% y en cascara secas un 24 % mediante el uso de etanol como disolvente.

El proyecto requiere una inversión para todo el proceso de \$258,112,761.44 pesos colombianos para ser desarrollado a escala piloto. Los costos de operación mensual (consumo de agua y consumo energético) de todo el proceso corresponde a \$543,158.04 pesos. El costo de inversión de los equipos es de \$141,218,353.40 pesos y de solvente \$ 116,351,250 pesos.

Realizar la producción de 100 kg de sérum facial tiene un costo de consumo de energía durante un mes de \$53,110.68 pesos colombianos, adicionalmente el costo por componentes a utilizar durante todo el proceso es de \$ 2,559,158.19 pesos colombianos.

Teniendo en cuenta el diagrama de Gantt, los costos de operación respectivos de cada equipo y su gasto energético, se puede concluir que el proceso des destilado es aquel que representa el cuello botella es el proceso con un costo de \$ 75,221,150.4 pesos y un consumo energético de \$ 10,622.08 pesos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FAO, «Food and agriculture organization of the united nations,» 12 10 2019. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1238132/>. [Último acceso: 5 9 2021].
- [2] «El productor,» 31 7 2017. [En línea]. Available: <https://elproductor.com/2017/07/cultivo-de-tomate-de-arbol/>. [Último acceso: 15 9 2021].
- [3] RSU, «Consortio provincial, residuos spolidos urbanos,» [En línea]. Available: <http://www.consorciosumalaga.com/5936/residuos-organicos#:~:text=Los%20residuos%20org%C3%A1nicos,%20son%20biodegradables,restos%20vegetales%20de%20origen%20domiciliario..> [Último acceso: 15 9 2021].
- [4] M. Quiñones, M. M y A. A, «Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular,» *SciELO*, vol. 27, nº 1, p. 77, 2012.
- [5] M. M. y. A. A. M. Quiñones1, «Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular,» *SciELO*, vol. 27, nº 1, p. 14, 2012.
- [6] NIH, «vitamina E National Institutes of health,» 2021. [En línea]. Available: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-DatosEnEspanol/>. [Último acceso: 10 10 2021].
- [7] M. L. M.-V. M. Ivonne Díaz-Yamal, «Fitoestégenos: revisión de tema,» *SciELO*, vol. 60, nº 3, pp. 274-280, 2009.
- [8] k. Minolta, «konica Minilta sensing Americas,» [En línea]. Available: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [9] M. A. Román Páez, C. M. Rivera Narváez y L. M. Cardona Bermúdez, «Guia de extracción de fluidos supercriticos: fundamentos y aplicaciones.,» Rionegro-Antioquia, 2019.
- [10] S. P. S. Chandía, «Optimización del proceso de extracción supercrítica de los polifenoles de la vaina de tara (caesalpinia spinosa),» Santiago de Chile, 2012.

- [11] E. Guija Poma, M. Á. Camones y J. Pardo Ponce, «Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante,» *SciELO*, vol. 15, n° 1, pp. 1-4, 2015.
- [12] T. A. e. Química, «Determinación del contenido dgraso de leche en polvo: Extracción soxhlet,» 2005.
- [13] «Calidad total,» 14 10 2016. [En línea]. Available: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [14] F. T. Z. Amores, «Estandarización de la metodología de cromatografía de columna para el aislamiento de metabolitos activos a partir de extractos vegetales,» Cuenca-Ecuador, 2017.
- [15] C. J. R. Delgadillo, «Repositorio Fundación Universidad de America,» 2020. [En línea]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8180/1/6151508-2020-2-IQ.pdf>. [Último acceso: 22 9 2021].
- [16] L. Castañeda-Rodríguez, «Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/11/161.pdf>. [Último acceso: 07 12 2021].
- [17] Y. I. V. Tobar, «Estudio de las condiciones óptimas de extracción mediante fluido supercrítico del extracto de las hojas de chiriyuyo (*Kalanchoe Pinnata*),» Quito, 2019.
- [18] A. M. Muñoz Jáuregui, F. Ramos-Escudero y C. Alvarado-Ortiz Ureta, «EVALUACIÓN DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN CÁSCARAS DE CAMU CAMU. GUINDA, TOMATE DE ÁRBOL Y CARAMBOLA. CULTIVADAS EN PERÚ,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 75, n° 4, pp. 435-437, 2009.
- [19] R. G. C. Tuesta, «Alimentos ricos en flavonoides y sus beneficios a la salud,» 30 junio 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3564/FIAI%20-%20Rodrigo%20Grey%20Chong%20Tuesta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 23 septiembre 2021].

- [20] J. C. H. V. C. C. A. Ivonne Cerón S.a, «Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina,» *vector*, vol. 5, pp. 17-26, 2010.
- [21] A. Torres, «caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn.,» *scielo*, vol. 62, nº 4, 2012.
- [22] C. R. E. Z. Ritva Repo de Carrasco, «Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas,» *scielo*, vol. 74, nº 2, 2008.
- [23] D. Rojas Benites, R. Repo de Carraso, C. R y E. Zelada, «Semanticscholar,» 14 06 2017. [En línea]. Available: https://pdfs.semanticscholar.org/8e43/9e9b6cd538f0c2b5c24523d10afaf19b46e9.pdf?_ga=2.45169252.195796362.1633578967-799360733.1633578967. [Último acceso: 6 10 2021].
- [24] C. A. B. LOOR, «Efecto de la deshidratación sobre la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la pulpa concentrada de tomate de árbol morado (*Solanum betaceum*),» noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5126>. [Último acceso: 26 septiembre 2021].
- [25] C. J, C. Otero, B. Rojano y J. Osorio, «Revistas unicordoba,» 25 01 2014. [En línea]. Available: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/732/848>. [Último acceso: 6 10 2021].
- [26] C. A. G. Cáceres, «Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante en fibra dietética extraída de cultivos ancestrales andinos para su utilización como suplemento alimenticio.,» 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3068/1/BQ34.pdf>. [Último acceso: 01 octubre 2021].
- [27] M. Ortiz, M. d. c. Reza, J. A. Meza y R. G. Chew, «Propiedades funcionales de las antiocianinas,» *Ciencias Biológicas de la salud*, vol. 13, nº 2, p. 17, 2011.
- [28] L. Vicente-Vicente, M. Prieto y A. I. Morales, «Eficacia y seguridad de la quercetina como complemento alimenticio,» *Toxicología*, vol. 30, nº 2, p. 172, 2013.

- [29] A. Ruiz, «Esdesign,» 27 9 2017. [En línea]. Available: <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/disenio-publicitario/el-disenio-conceptual-y-sus-aplicaciones-en-el-mundo-actual>. [Último acceso: 19 10 2021].
- [30] A. HERNÁNDEZ OCAMPO y L. B. AGUDELO MESA, «uniquindio,» 2005. [En línea]. Available: <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/5861/PORTADA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 05 11 2021].
- [31] D. S. L. Maria y D. M. Carolina, «Fundación universidad de América,» 6 2019. [En línea]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7615>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [32] E. Korovessi y A. A. Linninger, de *Batch Processes*, Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC, 2006, p. 399.
- [33] c. envitech, «condorchem envitech,» 2021. [En línea]. Available: <https://condorchem.com/es/evaporadores-al-vacio/>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [34] Intranox, «Intranox,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.intranox.com/tanques-de-almacenamiento/tanques-de-mezcla>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [35] DIAN, «DIAN,» 2021. [En línea]. Available: <https://muisca.dian.gov.co/WebArancel/DefGravamenPopUp.faces?nomenclatura=83259&codNomenclatura=8474109000&componente=3®imen=1&fechaConsulta=20211213&modoPresentacionSeleccionBO=dialogo>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [36] DIAN, «DIAN,» 2021. [En línea]. Available: <https://muisca.dian.gov.co/WebArancel/DefGravamenPopUp.faces?nomenclatura=77865&codNomenclatura=8417803000&componente=3®imen=1&fechaConsulta=20211213&modoPresentacionSeleccionBO=dialogo>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [37] DIAN, «DIAN,» 2021. [En línea]. Available: <https://muisca.dian.gov.co/WebArancel/DefGravamenPopUp.faces?nomenclatura=40886&codNomenclatura=2101200000&componente=3®imen=1&fechaConsulta=20211213&modoPresentacionSeleccionBO=dialogo>. [Último acceso: 10 12 2021].

- [38] «Plantas de destilación,» [En línea]. Available: https://www.ofru.com/fileadmin/ofru/Dokumente/Catalog/27_800_028_Instalaciones_de_destilacion_para_reciclaje_recuperacion_de_disolventes.pdf. [Último acceso: 10 noviembre 2021].
- [39] L. García, «PLants.books,» [En línea]. Available: <https://bylauragarcia.com/alcohol/>. [Último acceso: 10 11 2021].
- [40] «gastronomía&cía,» 5 9 2010. [En línea]. Available: <https://gastronomiaycia.republica.com/2010/09/05/tomate-de-arbol/>. [Último acceso: 15 9 2021].
- [41] C. p. I. C. Ambiental, «Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del norte,» Quebec, Canadá, 2017.
- [42] M. Ware, «MedicalNewsToday,» 9 2 2021. [En línea]. Available: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/antioxidantes>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [43] «Cuidate,» 8 9 2021. [En línea]. Available: <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/antioxidantes.html>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [44] R. G. C. Tuesta, «Alimentos ricos en flavonoides y sus beneficios a la salud,» 26 11 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3564/FIAI%20-%20Rodrigo%20Grey%20Chong%20Tuesta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [45] J. G.-G. J. M. C. S. Martínez-Flórez, «Nutrición Hospitalaria,» 2002. [En línea]. Available: <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [46] O. Cartaya y I. Reynaldo, «Cultivos tropicales,» 2001. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [47] F. M. I. Franco, «Centro de Investigación en Alimentación y,» 9 2011. [En línea]. Available: <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/341/1/I%C3%91IGUE-Z-FRANCO-FM11.pdf>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [48] M. M. y. A. A. . M. Quiñones1.

- [49] M. Vilaplana, «Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos,» *ELSEVIER*, vol. 26, nº 10, p. 86, 2007.
- [50] «National Institutes of health,» [En línea]. Available: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-DatosEnEspañol/>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [51] F. M. I. Franco, «Estudios de la difusión catequina y epicatequina en películas de ácido poliláctico y su caracterización fisicoquímica,» 2011.
- [52] R. V. López, «Caracterización fisico-química del membrillo Japonés (*chenomeles* sp. Lindl.),» Murcia, 2006.
- [53] YARA, «YARA,» [En línea]. Available: <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/citricos/solidos-solubles-totales-sst-en-citricos/>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [54] L. Domínguez, «Fluidos supercríticos».
- [55] L. V. d. Frutos, «Extracción con fluidos supercríticos y síntesis enzimática para la obtención de lípidos funcionales,» 2008.
- [56] M. R. S. Vásquez, «Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper peltatum* L. y *Piper aduncum* L. procedentes de la región Amazonas,» *Dialnet*, vol. 6, nº 1, pp. 105-116, 2015.
- [57] «Métodos de separación de mezclas,» 2021. [En línea]. Available: <https://metodosdeseparaciondemezclas.win/>. [Último acceso: 16 9 2021].
- [58] KabirDhingra, «Supercritical fluids in separation and purification: A review,» *SciELO*, vol. 2, nº 3, p. 22, 2019.
- [59] R. Velasco, H. Villada y J. Carrera, «Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la agroindustria,» *SciELO*, vol. 18, nº 1, p. 55, 2007.
- [60] «Apunte Extracción,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ing.unlp.edu.ar>. [Último acceso: 22 9 2021].
- [61] R. G. C. Tuesta, «UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO,» [En línea].
- [62] I. I. Química, «IQR Ingeniería Química,» 04 7 2020. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/07/destilacion-flash.html>. [Último acceso: 2 11 2021].

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA DE SEGURIDAD DEL ETANOL

	Emergencias: tel. 01800 09 41414 (todo el país) 4055900 (Bogotá). Servicio 24 horas.			
<h2 style="margin: 0;">HOJA DE SEGURIDAD</h2>				
	<p>ETANOL (C₂H₅OH)</p> <p>Alcohol etílico, Alcohol, Alcohol de cereales. Líquido incoloro, límpido, volátil, olor etéreo a vino, sabor picante. CAS [64-17-5]</p> <p style="text-align: center;">UN 1170</p>			
<p>RIESGOS Y PRECAUCIONES:</p> <p>Frases R: 11 Fácilmente inflamable. Tóxico en contacto con la piel y por ingestión. Provoca quemaduras.</p> <p>Frases S: 7/16 Manténgase el recipiente bien cerrado. Conserve alejado de la llama o fuentes de chispas- No fumar.</p> <p>NFPA: Salud 0; Inflamabilidad 3; Reactividad 0</p>				
<p>PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS IMPORTANTES:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <p>Punto de fusión: -117 °C</p> <p>Punto de ebullición: 78 °C</p> <p>Punto de ignición: 425°C</p> <p>Temperatura de autoignición: 363°C</p> <p>Límite inferior de Explosividad: 3.3% volumen</p> <p>Límite Superior de Explosividad: 19.0% volumen</p> <p>Solubilidad: Miscible con agua, éter, cloroformo, acetona, alcohol metílico.</p> </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <p>Punto de inflamación: 14 °C</p> <p>Presión de vapor: 59 mbar</p> <p>Valor de pH: neutro</p> <p>Gravedad específica: 0.79g/cm³</p> <p>Temperatura crítica: 243 °C</p> <p>Densidad del vapor: 1,6 (aire = 1)</p> </td> </tr> </table>			<p>Punto de fusión: -117 °C</p> <p>Punto de ebullición: 78 °C</p> <p>Punto de ignición: 425°C</p> <p>Temperatura de autoignición: 363°C</p> <p>Límite inferior de Explosividad: 3.3% volumen</p> <p>Límite Superior de Explosividad: 19.0% volumen</p> <p>Solubilidad: Miscible con agua, éter, cloroformo, acetona, alcohol metílico.</p>	<p>Punto de inflamación: 14 °C</p> <p>Presión de vapor: 59 mbar</p> <p>Valor de pH: neutro</p> <p>Gravedad específica: 0.79g/cm³</p> <p>Temperatura crítica: 243 °C</p> <p>Densidad del vapor: 1,6 (aire = 1)</p>
<p>Punto de fusión: -117 °C</p> <p>Punto de ebullición: 78 °C</p> <p>Punto de ignición: 425°C</p> <p>Temperatura de autoignición: 363°C</p> <p>Límite inferior de Explosividad: 3.3% volumen</p> <p>Límite Superior de Explosividad: 19.0% volumen</p> <p>Solubilidad: Miscible con agua, éter, cloroformo, acetona, alcohol metílico.</p>	<p>Punto de inflamación: 14 °C</p> <p>Presión de vapor: 59 mbar</p> <p>Valor de pH: neutro</p> <p>Gravedad específica: 0.79g/cm³</p> <p>Temperatura crítica: 243 °C</p> <p>Densidad del vapor: 1,6 (aire = 1)</p>			
<p>PRIMEROS AUXILIOS:</p> <p>Inhalación: Tome precauciones para su propia seguridad (utilice equipo de protección adecuado, retire la fuente de contaminación o mueva la víctima al aire fresco). Personal entrenado debe suministrar respiración artificial si la víctima no respira, o resucitación cardiopulmonar si hay paro cardiorrespiratorio. Evite el contacto directo boca a boca. Obtenga atención médica de inmediato.</p> <p>Contacto con la piel: Lave el área contaminada con abundante agua. Retire la ropa contaminada. Continúe el lavado durante 20 minutos y repítalo si la irritación persiste. Obtenga atención médica de inmediato.</p> <p>Ingestión: Dé a beber abundante agua. No induzca al vómito; si éste ocurre naturalmente, mantenga a la víctima inclinada hacia adelante con la cabeza baja para evitar aspiración durante el vómito. Obtenga atención médica de inmediato.</p> <p>Contacto con los ojos: Lave de inmediato con abundante agua tibia a baja presión, durante por lo menos 15 minutos, o hasta que el producto sea retirado. Mantenga los párpados separados. Si la irritación persiste, repita el lavado. Consiga ayuda médica de inmediato.</p>				
<p>INCENDIO:</p> <p>Consideraciones especiales: Es un material inflamable. Vapores más pesados que el aire. Con el aire se forman mezclas explosivas.</p> <p>Procedimiento: Evacúe y demarque el área en 100 metros a la redonda. Use traje de protección total y equipo de respiración autocontenido. Evite cargas electrostáticas. Use agua en spray para dispersar los vapores. Refrigere los recipientes con agua en spray desde la máxima distancia. Extinga con los agentes adecuados.</p> <p>Medios de extinción apropiados: Agua, espuma, polvo químico seco, CO₂.</p>				
<p>VERTIDO ACCIDENTAL:</p> <p>Elimine todas las fuentes de ignición o calor. Evacúe entre 25 y 50 metros en toda dirección y demarque las zonas. Contenga el derrame con diques de poliuretano o calcetines y recoja con absorbentes adecuados como almohadillas o tapetes especiales, Chemizorb o Vermiculita.</p> <p>Lave el área con agua y jabón utilizando únicamente las cantidades necesarias y recoja el agua de lavado para posterior disposición ecológica.</p> <p>Absorbentes Recomendados: Vermiculita, Chemizorb, calcetines, almohadas, tapetes.</p>				
<p>ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD:</p> <p>Estable a condiciones normales de temperatura y almacenamiento.</p> <p>Incompatibilidades: Metales alcalinos, metales alcalinotérreos, óxidos alcalinos, oxidantes fuertes.</p> <p>Condiciones a evitar: Calentamiento. En estado gaseoso-vapor, hay riesgo de explosión en presencia de aire. Evite fuentes de ignición, calor y cargas electrostáticas.</p> <p>Productos de descomposición térmica: Óxidos de carbono.</p>				

PARAMETROS DE CONTROL POR EXPOSICION:TLV - TWA: 1000 ppm - 1880 mg/m³

IDLH: 3300 ppm

PEL - TWA: 100 ppm - 1900 mg/m³**MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO:**

Elementos de protección personal sugeridos:



> 8 horas: Caucho de butilo, 4H.
> 4 horas: Neopreno, polietileno.



Monogafas de seguridad química



Hasta 1000 ppm: Respirador con cartucho para vapores orgánicos.
De 1000 a 3300 ppm: Línea de aire con botella de escape
> 3300 ppm: Equipo Autocontenido



Caucho butilo, Neopreno.



> 8 horas: caucho de butilo, Viton.
Traje de Proshield 3 antiestático



Ducha



Lavajos

Temperatura ideal de almacenamiento: 15 - 25 °C.

Evite cualquier contacto con el producto y no coma, beba ni fume durante su manipulación.

Lávese muy bien el cuerpo inmediatamente después de terminar el trabajo con este producto y las manos y cara antes de comer o ir al baño. Separe la ropa de trabajo de la de calle.

Almacene herméticamente en los recipientes originales, cerrado en sitio bien ventilado exclusivo para productos químicos; alejado de fuentes de ignición y calor. Conecte a tierra los contenedores.

Mantenga el producto fuera del alcance de niños y animales, separado de materiales incompatibles, medicamentos y alimentos, protegido de la humedad y de la luz solar directa.

TRANSPORTE:

Las etiquetas del vehículo deben medir por lo menos 25 cm de lado, tener los colores vivos, la letra contrastante y fácil de leer. Etiquete adecuadamente los contenedores y carrotanques y manténgalos cerrados. No lo transporte junto con productos explosivos de las clases 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, gases venenosos (2.3), oxidantes (5.1), venenos (6.1). Puede transportarse junto con la clase 1.4 (explosivo) sólo si están separados de tal manera que no se mezclen en caso de derrame del empaque. Apague el motor cuando cargue y descargue (a menos que requiera poner a funcionar la bomba de carga). No fume. Conecte a tierra el carrotanque antes de transferir el producto a o desde el contenedor. Asegure todos los recipientes contra movimiento.

Cierre y asegure manholes y válvulas, y verifique que éstas no tengan fugas.

Clasificación de peligro según el Libro Naranja de la ONU: 3 - Líquido inflamable (ver Decreto 1609 de 2002)

INFORMACION TOXICOLÓGICA:

Inhalación: Los vapores pueden causar leve irritación en las mucosas. Riesgo de absorción.

Ojos: Causa irritación.

Ingestión: Grandes cantidades pueden causar náuseas y vómito, dificultad para respirar, inconsciencia, daños en el sistema nervioso central.

Piel: Puede causar irritación o dermatitis si la exposición es repetida o prolongada.

Es irritante para las mucosas, y tejidos en general, ocasionando ulceración, hemorragia y perforación en el tracto digestivo. Tras absorción de grandes cantidades causa borrachera, vértigo, narcosis, parálisis respiratoria.

Dosis tóxicas: Datos para la sustancia anhidra.

DL₅₀ (oral, rata) = 6200 mg/Kg

CL₅₀ (Inhalación, rata) > 8000 mg/l (4 horas)

DL₅₀ (piel, conejo) > 20000 mg/kg

INFORMACION ECOLÓGICA:

Biodegradable. Efectos ecotóxicos, biológicos,

CL₅₀ (peces): > 10000 mg/l

Clasificación alemana de contaminación del agua: 0 (compuestos generalmente no contaminantes del agua)

BIBLIOGRAFÍA:

1. MERCK. ChemDAT Basis en CD-ROM Safety Data Sheets, MERCK Schuchardt. Alemania. 2002. Registro 100971.
2. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Base de datos MSDS (03-3). CD-ROM.
3. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Base de datos CHEMINFO (03-3). CD-ROM.
4. Threshold Limit Values (TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and BEI's, USA. 2003.
5. Krister and Forsberg. Quick Selection Guide to Chemical Protective Clothing. New York. 1997. Página 46.
6. Diccionario de Química y productos químicos. Gessner G. Hawley. Ed. Omega. S.A. 1992.

FECHA DE EMISION: Noviembre de 2003

ETANOL

ANEXO 2.

TARIFAS DE SERVICIO



TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/kWh)
 REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG)
 ENERO DE 2021

ÁREAS COMUNES NIVEL DE TENSIÓN 1			
MODALIDAD (Todo consumo)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CUENTE (*) (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CUENTE (*) (\$/kWh)
E1	541.4943	541.4943	504.7786
E2	541.4943	541.4943	504.7786
E3	541.4943	541.4943	504.7786
E4	541.4943	541.4943	504.7786
E5 y E6, Industrial y Comercial	649.7932	649.7932	606.7943
Exenta de contribución	541.4943	541.4943	504.7786

SECTOR RESIDENCIAL NIVEL DE TENSIÓN 1			
ESTRATO (E)	RANGO DE CONSUMO (kWh-mes)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CUENTE (*) (\$/kWh)
E1	0-4CS -1	220.8929	213.2535
	Más de 4CS	541.4943	504.7786
E2	0-4CS -1	276.1159	266.5671
	Más de 4CS	541.4943	504.7786
E3	0-4CS -1	460.2702	445.6524
	Más de 4CS	541.4943	504.7786
E4	Todo consumo	649.7932	620.1563
	Todo consumo	649.7932	620.1563

(+) 1 CS: Consumo de Substitución

SECTOR NO RESIDENCIAL									
		NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CUENTE (*) (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/kWh)	NIVEL 2 (11.4 y 13.2 kV) (\$/kWh)	NIVEL 3 (34.5 kV) (\$/kWh)	NIVEL 4 (115 kV) (\$/kWh)		
OFICINA E INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	541.4943	504.7796	524.2969	434.5156	401.8100	346.5000		
	OPCIONES HORARIAS (**)	544.3624	507.4402	526.9584	436.7388	403.0392	347.7138		
INDUSTRIAL Y COMERCIAL CON CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	541.9094	606.6792	625.3874	436.0831	403.8183	349.8371		
	OPCIONES HORARIAS (**)	649.7932	606.7343	625.1953	521.4187	482.1720	417.8000		
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	653.2588	606.9262	632.3501	524.0986	483.6470	419.6046		
	OPCIONES HORARIAS (**)	650.2973	607.0950	630.4769	522.6937	484.5820	419.6046		
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	543.9100	507.9339	527.1121	436.9982	404.3647	346.5000		
	OPCIONES HORARIAS (**)	542.1492	506.6161	525.3343	435.4727	402.9040	346.5000		
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	652.6520	609.1127	632.0345	524.3978	485.2376	419.6046		
	OPCIONES HORARIAS (**)	650.5700	606.9793	630.4012	522.5672	483.3648	419.6046		

COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO -CU- (\$/kWh), Resolución CREG -119 de 2007									
	Generación Gnc.J	Transmisión Trm	Distribución Dm	Comercialización Com.(***)	Pérdidas Pénc.(L)	Reservaciones RmJ	Cuentas.LJ Coficido	Cuentas.LJ Opcion Tarifas	
NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA	209.6940	36.0586	191.1558	53.2364	45.9653	22.0686	598.2587	541.4943	
NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA	209.6940	36.0586	175.2113	53.2364	45.9653	22.0686	542.3142	524.2969	
NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CUENTE	209.6940	36.0586	189.2669	53.2364	45.9653	22.0686	526.3688	504.7786	
NIVEL 2	209.6940	36.0586	127.5015	53.2364	18.3065	22.0686	465.9465	434.5156	
NIVEL 3	209.6940	36.0586	104.8583	53.2364	18.0787	22.0686	444.0566	401.8100	
NIVEL 4	209.6940	36.0586	25.4010	53.2364	12.8228	22.0686	369.3514	346.5000	
CmJ (\$/factor)***				7144.6556					



AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ
 GERENCIA CORPORATIVA SERVICIO AL CLIENTE
 DIRECCION DE APOYO COMERCIAL
 TARIFAS CARGO FIJO Y CONSUMO

TARIFAS PARA LOS SUSCRIPTORES ATENDIDOS EN BOGOTÁ D. C. POR LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, EAAB -ESP
 TARIFAS PARA EL SERVICIO DE ACUEDUCTO AÑO 2021

CIFRAS EN \$/Cuerdas

R	CARGO FIJO \$/Suscriptor/2	dic-2020	ene-2021	feb-2021	mar-2021	abr-2021	may-2021	jun-2021	jul-2021	ago-2021	sep-2021	oct-2021	nov-2021	dic-2021
E	Estrato 1	4,009.30	4,009.30	4,130.38	4,130.38	4,130.38	4,130.38	4,130.38	4,085.12	4,202.52	4,202.52	4,202.52	4,202.52	4,202.52
E	Estrato 2	8,018.60	8,018.60	8,260.76	8,260.76	8,260.76	8,260.76	8,260.76	8,130.22	8,405.02	8,405.02	8,405.02	8,405.02	8,405.02
S	Estrato 3	11,359.68	11,359.68	11,702.74	11,702.74	11,702.74	11,702.74	11,702.74	11,517.82	11,907.12	11,907.12	11,907.12	11,907.12	11,907.12
I	Estrato 4	13,364.32	13,364.32	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,550.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38
I	Estrato 5	29,936.08	29,936.08	30,840.14	30,840.14	30,840.14	30,840.14	30,840.14	30,352.86	31,378.78	31,378.78	31,378.78	31,378.78	31,378.78
I	Estrato 6	36,618.24	36,618.24	37,724.10	37,724.10	37,724.10	37,724.10	37,724.10	37,128.04	38,382.96	38,382.96	38,382.96	38,382.96	38,382.96
D	CONSUMO BASICO \$/m³													
D	Estrato 1	783.01	783.01	809.95	809.95	809.95	809.95	809.95	809.03	830.22	830.22	830.22	830.22	830.22
E	Estrato 2	1,566.02	1,566.02	1,619.90	1,619.90	1,619.90	1,619.90	1,619.90	1,618.06	1,660.44	1,660.44	1,660.44	1,660.44	1,660.44
E	Estrato 3	2,185.53	2,185.53	2,294.86	2,294.86	2,294.86	2,294.86	2,294.86	2,292.29	2,352.29	2,352.29	2,352.29	2,352.29	2,352.29
M	Estrato 4	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
C	Estrato 5	4,045.56	4,045.56	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,180.00	4,289.48	4,289.48	4,289.48	4,289.48	4,289.48
C	Estrato 6	4,306.57	4,306.57	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,449.68	4,566.22	4,566.22	4,566.22	4,566.22	4,566.22
I	CONSUMO NO BASICO \$/m³													
I	Estrato 1	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
A	Estrato 2	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
A	Estrato 3	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
L	Estrato 4	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
L	Estrato 5	4,045.56	4,045.56	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,184.75	4,180.00	4,289.48	4,289.48	4,289.48	4,289.48	4,289.48
L	Estrato 6	4,306.57	4,306.57	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,454.74	4,449.68	4,566.22	4,566.22	4,566.22	4,566.22	4,566.22
C	CARGO FIJO \$/Suscriptor/2 max													
C	COMERCIAL	20,046.48	20,046.48	20,651.88	20,651.88	20,651.88	20,651.88	20,651.88	20,325.58	21,012.58	21,012.58	21,012.58	21,012.58	21,012.58
C	INDUSTRIAL	17,373.62	17,373.62	17,898.30	17,898.30	17,898.30	17,898.30	17,898.30	17,615.50	18,210.90	18,210.90	18,210.90	18,210.90	18,210.90
C	OFICIAL	13,364.32	13,364.32	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,550.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38
C	ESPECIAL	13,364.32	13,364.32	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,767.92	13,550.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38	14,008.38
C	CONSUMO \$/m³													
C	COMERCIAL	3,915.06	3,915.06	4,049.76	4,049.76	4,049.76	4,049.76	4,049.76	4,045.16	4,151.11	4,151.11	4,151.11	4,151.11	4,151.11
C	INDUSTRIAL	3,601.86	3,601.86	3,725.78	3,725.78	3,725.78	3,725.78	3,725.78	3,721.55	3,819.48	3,819.48	3,819.48	3,819.48	3,819.48
C	OFICIAL	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40
C	ESPECIAL	2,610.04	2,610.04	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,699.84	2,696.77	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40	2,767.40

Para Grupos de Usuarios Comerciales y Industriales

ANEXO 3.

CÁLCULOS DE SERVICIO DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDES

• Lavado

Consumo de agua

$$300 \frac{L}{día}$$
$$300 \frac{L}{día} * \left(\frac{1m^3}{1000 L} \right) * \left(\frac{\$3,819.48}{m^3} \right) = 1,145.84 \frac{\$}{día}$$
$$1,145.84 \frac{\$}{día} * 28 \frac{días}{mes} + \$18,210.9 = 50,294.53 \frac{\$}{mes}$$

Consumo de energía

$$2.2kW * \frac{0.17h}{día} = 0.374 \frac{kWh}{día}$$
$$0.374 \frac{kWh}{día} * \left(\frac{\$505.8161}{kWh} \right) = 189.18 \frac{\$}{día}$$
$$189.18 \frac{\$}{día} * 28 \frac{días}{mes} = 5,296.91 \frac{\$}{mes}$$

• Secado

Consumo de energía

$$2.4 kW * \frac{6h}{día} = 14.4 \frac{kWh}{día}$$
$$14.4 \frac{kWh}{día} * \left(\frac{\$505.8161}{kWh} \right) = 7,283.75 \frac{\$}{día}$$
$$7,283.75 \frac{\$}{día} * 28 \frac{días}{mes} = 203,945 \frac{\$}{mes}$$

• Molienda

Consumo de energía

$$0.0015kW * \frac{0.5h}{día} = 7.5 * 10^{-4} \frac{kWh}{día}$$
$$7.5 * 10^{-4} \frac{kWh}{día} * \left(\frac{\$505.8161}{kWh} \right) = 0.38 \frac{\$}{día}$$

$$0.38 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 10.62 \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **Tamizado**

Consumo de energía

$$0.55 \text{ kW} * \frac{0.5 \text{ h}}{\text{día}} = 0.275 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$0.275 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 139.09 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$139.09 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 3,894.78 \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **Extracción**

Consumo de energía

$$2.5 \text{ kW} * \frac{6 \text{ h}}{\text{día}} = 15 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$15 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 7,587.24 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$7,587.24 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 212,442.72 \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **Destilación**

Consumo de energía

$$0.75 \text{ kW} * \frac{1 \text{ h}}{\text{día}} = 0.75 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$0.75 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 379.36 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$379.36 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 10,622.08 \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **Secado 2**

Consumo de energía

$$2 \text{ kW} * \frac{2 \text{ h}}{\text{día}} = 4 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$4 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 2,023.26 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$2,023.26 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 56,651.40 \frac{\$}{\text{mes}}$$

ANEXO 4.

CÁLCULOS DE SERVICIO DE PROCESOS DE SÉRUM FACIAL

- **TANQUE 1**

Consumo de energía

$$1.5 \text{ kW} * \frac{1.5h}{\text{día}} = 2.25 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$
$$2.25 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 1,138.09 \frac{\$}{\text{día}}$$
$$1,138.09 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 31,866.52 \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **TANQUE 2 y 3**

Consumo de energía

$$1.5 \text{ kW} * \frac{0.5h}{\text{día}} = 0.75 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$
$$0.75 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * \left(\frac{\$505.8161}{\text{kWh}} \right) = 379.36 \frac{\$}{\text{día}}$$
$$379.36 \frac{\$}{\text{día}} * 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 10,622.08 \frac{\$}{\text{mes}}$$

ANEXO 5.

RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta la extracción de flavonoides, se recomienda llevar a cabo un proyecto de grado que profundice el proceso de obtención y el proceso productivo para la formulación de un sérum facial a partir de un antioxidante proveniente de un residuo agroindustrial con el fin de darle un valor agregado.
- Se debe tener en cuenta que las etapas de separación y secado son comunes e independientes del compuesto de interés, es por ello que durante el proceso se utilizan temperaturas menores de 60°C y un pH entre 2 y 5 para mantener la calidad del producto y así mismo esto evita el uso de aditivos, conservantes o inhibidores artificiales de microorganismos.
- Una alternativa para aumentar la cantidad de producto en la extracción es la adición de enzimas (pectinolíticas), a la biomasa finamente pulverizada, ya que esta destruye los componentes de la pared celular y permitir la liberación de los compuestos.
- Para llevar a cabo el desarrollo del diagrama de Gantt de debe tener en cuenta dentro del proceso de operación de cada equipo, el tiempo de carga y descarga de la corriente de alimentación, así mismo se tiene en cuenta que para el proceso de lavado operarios se encargan de colocar toda la materia prima sobre bandas transportadoras, prolongando los tiempos de operación.
- Para los procesos de lavado, molienda y tamizado se hace uso de operarios que se encargan de transportar la materia prima al próximo proceso; sin embargo, el proceso de extracción, destilación y evaporación son transportados por medio de ductos de un proceso a otro, con el fin de obtener un producto líquido viscoso.
- Se debe evaluar la vida útil del solvente recirculado en el proceso de extracción para determinar el efecto que tiene este al momento de entrar en contacto nuevamente con una nueva corriente de material pulverizado, esto con el fin de evitar pérdidas en el proceso y aumentar los tiempos de extracción.

- Se recomienda llevar a cabo la experimentación de la extracción de flavonoides mediante extracción Soxhlet, con la finalidad de exponer resultados experimentales y así mismo poder ser comparador con los resultados teóricos expuestos a lo largo del documento.
- Teniendo en cuenta la cantidad de 1.5 ton/mes de cascara de tomate de árbol suministrada por la empresa Toysa Food, es necesario implementar un cuarto frio de almacenamiento que permita almacenar semanalmente 400kg de cáscara, esto con el fin de conservar las propiedades nutricionales de la cascara y así mismo evitar los estados de descomposición a la que esta pueda llegar.
- En cuanto a los costos de inversión y operación, es necesario llevar a cabo un diseño más detallado implementando costos como: espacios de almacenamiento, compra o arriendo del terreno, mantenimiento de equipos, auditorias, salario básico de los empleados, auxilio de transporte, pensión, salud, cesantías, intereses, prima, vacaciones, parafiscales, dotación y liquidación.