

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Desarrollo de un proceso para la obtención de polifenoles, aceite esencial y pectina de la cáscara de naranja, utilizando ultrasonido.

**Proyecto Integrador**

Previo a la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Elías Humberto Beltrán Barzola

Jhon Jairo Piguabe Plúa

Guayaquil - Ecuador

Año 2023

## Dedicatoria

---

Dedico de todo corazón este trabajo de titulación a mi madre, sin tu motivación y lucha nada de esto hubiera sido posible. A mi padre y hermanos quienes han sido mi impulso para salir adelante, a mi compañera de vida que ha sido mi soporte en cada obstáculo, y a ti mi nuevo proyecto.

**Elías H. Beltrán Barzola**

Dedico este proyecto a Dios que ha sido mi mayor fortaleza en todo momento.

A mis padres, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

A las personas que a lo largo de mi carrera universitaria han influido positivamente para que pueda esforzarme y llegar hasta esta etapa de mi vida.

**Jhon Jairo Piguabe Plúa**

## Agradecimientos

---

Agradecemos a Dios por este paso que nos permite dar en la vida. A nuestros tutores Dr. César Moreira e Ing. Luis Vaca por su guía y apoyo incondicional.

Nuestros más sinceros agradecimientos para los laboratorios LAQUINS e Hidrocarburos, en especial al PhD. Joan Vera y al Ing. Tyrone Alcívar que en todo momento nos brindaron soporte para el desarrollo de este proyecto integrador.

**Elías Beltrán y Jhon Piguabe**

## Declaración Expresa

---

Nosotros Elías Humberto Beltrán Barzola y Jhon Jairo Piguabe Plúa acordamos y reconocemos que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 1 de Septiembre del 2023.

  
\_\_\_\_\_  
Elías Beltrán Barzola

  
\_\_\_\_\_  
Jhon Piguabe Plúa

## Evaluadores



Firmado electrónicamente por:  
CESAR MIGUEL  
MOREIRA VALENZUELA

---

**MSc. María Verónica Ordóñez**

Profesor de Materia

---

**PhD. César Moreira Valenzuela**

Tutor de proyecto

## Resumen

Este estudio se enfoca en el aprovechamiento de un desecho agroindustrial propio de nuestro país como lo es la cáscara de naranja, se tiene como objetivo el desarrollo de pruebas a escala experimental con el fin de transformarlo en un recurso renovable a través de la búsqueda de las condiciones adecuadas que permitan maximizar la obtención del CPT, aceite esencial y pectina. Actualmente, los desechos agroindustriales son de interés ya que se ha demostrado mediante estudios de valorización, que pueden ser utilizados como materia prima, en procesos de conversión, para obtención de recursos.

Para los fines respectivos, se optó por integrar en cada etapa, 3 en total, del proceso el uso del baño ultrasónico, que permitió proponer una línea de producción, que posibilitó el uso de la cáscara de naranja como materia prima para la obtención de insumos para industrias afines. A las condiciones propuestas y mediante el análisis de los extractos se determinó un rendimiento de CPT del 37,55%, asimismo, se corroboró una concentración del 22,9 ppm de D-L que soporta la presencia de un aceite esencial y un aumento en el rendimiento de la obtención de pectina del 53,56%.

Finalmente, a través de los rendimientos presentados y el uso de herramientas de análisis económico como el VAN y la TIR se establece que este proceso es rentable con una recuperación de lo invertido en el segundo año de producción, que establece la factibilidad de ejecutar este proyecto.

**Palabras clave:** Biorrefinería de la cáscara de naranja, Baño ultrasónico, D-limoneno, Aditivos alimenticios.

## Abstract

This study focuses on the use of an agro-industrial waste typical of our country such as orange peel, The objective is to develop experimental tests to transform it into a renewable resource through the search for the right conditions to maximize the TCP, essential oil and pectin. Currently, agro-industrial waste is of interest as it has been demonstrated through valorization studies, which can be used as raw material, in conversion processes, to obtain resources.

For the respective purposes, it was chosen to integrate in each stage, 3 in total, of the process the use of the ultrasonic bath, which allowed to propose a production line, which enabled the use of the orange peel as raw material for obtaining products for related industries. At the proposed conditions and by the analysis of the extracts a TCP yield of 37.55% was determined, also a concentration of 22,9 ppm of D-L that supports the presence of an essential oil and an increase in the yield of pectin of 53.56%.

Finally, through the presented yields and the use of economic analysis tools such as the NPV and the IRR it is established that this process is profitable with a recovery of what was invested in the second year of production, which establishes the feasibility of implementing this project.

**Keywords:** Orange peel biorefinery, Ultrasonic bath, D-limonene, Food additives.

# Índice

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice.....	III
Abreviaturas .....	V
Simbología.....	VI
Índice de Tablas .....	VII
Índice de Figuras.....	VIII
Capítulo 1 .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.5 MARCO TEÓRICO.....	5
1.5.1 <i>Naranja y sus propiedades</i> .....	5
1.5.2 <i>Composición química de la cáscara de naranja</i> .....	6
1.5.3 <i>Métodos de extracción</i> .....	7
1.5.3.1 <i>Ultrasonido</i> .....	7
1.5.3.2 <i>Hidrólisis ácida</i> .....	8
Capítulo 2 .....	10
2.1 METODOLOGÍA.....	11
2.1.1 <i>Preparación de la Biomasa</i> .....	11
2.1.2 <i>Reactivos y Equipos</i> .....	11
2.1.2.1 <i>Extracción de d-limoneno</i> .....	12
2.1.2.2 <i>Extracción de polifenoles totales</i> .....	12
2.1.2.3 <i>Extracción de pectina</i> .....	12
2.1.3 <i>Diseño de la línea de proceso</i> .....	13
2.1.3.1 <i>Determinación de Polifenoles Totales por EAU</i> .....	13
2.1.3.2 <i>Obtención de aceites esenciales por EAU</i> .....	14
2.1.3.3 <i>Separación de Pectina por EAU</i> .....	15
2.1.4 <i>Costos</i> .....	16
Capítulo 3 .....	17
3.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	18
3.1.1 <i>Producción de polifenoles totales</i> .....	18
3.1.2 <i>Producción de aceite esencial</i> .....	22
3.1.3 <i>Producción de pectina</i> .....	25
3.1.4 <i>Diagrama de bloques de la línea de producción</i> .....	28
3.1.5 <i>Diagrama de flujo de la línea de producción</i> .....	29
3.1.6 <i>Análisis de Costos</i> .....	30

Capítulo 4 .....	31
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	32
4.1.1 Conclusiones .....	32
4.1.2 Recomendaciones .....	33
BIBLIOGRAFÍA .....	35
APÉNDICE .....	41

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
D-L	D-Limoneno
CPT	Contenido de Polifenoles Totales
AG	Ácido Gálico
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
EAU	Extracción Asistida por Ultrasonido
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
SSR	Solvent to Solid Ratio
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento

## Simbología

mg	Miligramos
g	Gramo
μ	Micras
kHz	Kilohertzio
pH	Potencial de Hidrógeno
HCl	Ácido Clorhídrico
°C	Grados Celsius
ppm	Partes por millón

## Índice de Tablas

Tabla 2.1.....	15
Tabla 3.1.....	19
Tabla 3.2.....	20
Tabla 3.3.....	21
Tabla 3.4.....	23
Tabla 3.5.....	24
Tabla 3.6.....	26

## Índice de Figuras

Figura 3.1 .....	22
Figura 3.2 .....	27
Figura 3.3 .....	28
Figura 3.4 .....	29

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

El presente trabajo de titulación tiene como fin presentar al sector agroindustrial diferentes propuestas inclinadas al reúso y aprovechamiento de los desechos sólidos agroindustriales generados en cifras elevadas al año. El residuo base consiste en la cáscara de naranja, no obstante, este cítrico tiene un alto impacto en Ecuador, ya que es uno de los productos agrícolas producidos en verano y es uno de los más desechados.

A través de diferentes ensayos y tratamientos experimentales fisicoquímicos, se busca estudiar las mejores condiciones para obtener aceite esencial y polifenoles, además, de sintetizar pectina. Estos productos captan la atención industrial por sus propiedades antioxidantes, organolépticas, gelatinizantes, aditivas, entre otras, o como sub-reactivos para la producción de una alta gama de productos de consumo humano.

De los compuestos mencionados, se propone evaluar la obtención de aceite D-L, medir CPT en términos de mg ácido gálico (AG) por g de biomasa seca, y la determinación del rendimiento de pectina aprovechando una misma biomasa, por lo tanto, se debe considerar que la información sujeta a estudios del arte y ensayos de prueba/error son indispensables para desarrollar las condiciones adecuadas de trabajo.

Este proyecto implica un alto interés, específicamente, porque será cuantificada cada línea de experimentación con el fin de demostrar numéricamente lo rentable que puede ser la extracción de estas moléculas en base a los rendimientos de las variables medibles, además, fomentar e incentivar en las sociedades industriales del Ecuador la buena gestión de sus residuos sólidos como un recurso renovable que condicione con el cumplimiento del postulado 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## 1.2 Descripción del problema

La naranja (*Citrus sinensis*) es una de las frutas más cultivadas en el mundo, con una producción de más de 52 millones de toneladas anuales (Shahbandeh, 2022). En Ecuador, anualmente su producción bordea las 142 mil toneladas, Chimborazo (2011) menciona que Manabí es la provincia principal productora de naranja con un aproximado de 86 mil toneladas anuales, del cual debido a sus nutrientes y vitaminas proveídas por su consumo se aprovecha un 50%, mientras que, el otro 50% es desechado.

Para Moncayo Luján et al. (2018) la cáscara de la naranja es el principal residuo aprovechable que contiene aceites esenciales, azúcares y pigmentos, aun así Delgado (2018) expone que este residuo no es estudiado, industrializado o aprovechado, pero tiene un sinnúmero de prestaciones reembolsables y sostenibles.

En las industrias alimenticias ecuatorianas, ya sea por diversos factores no han inclinado su interés por buscar el aprovechamiento y reúso vinculado a los residuos de tipo agroindustrial, entre estas causas destaca la falta de personal capacitado en investigación de procesos sostenibles, tratamientos aportados a la biomasa, recursos económicos ya que sin estudios y condiciones factibles el tratamiento de biomasa puede resultar costoso, principalmente, por el alto contenido de humedad asociado, además, se debe considerar también la falta de equipos, materiales y reactivos.

Por otra parte, son pocas las industrias que solicitan proveedores externos para estudiar, caracterizar y valorar sus residuos industriales, no obstante, esta falta de iniciativa impulsa a las empresas a una mal gestión de sus desechos y por ende un impacto ambiental. La situación emergente en lo que confiera al efecto invernadero debido a la falta de disposición y degradación de sólidos residuales orgánicos, obliga a Ecuador a atender este tema e interesarse en alternativas

que permitan su aprovechamiento. Y, a motivar a la sociedad a reducir su dependencia en productos derivados del petróleo.

### **1.3 Justificación del problema**

Considerando la búsqueda de nuevos ámbitos de investigación en la industria del agro, la ESPOL demuestra su interés en propuestas relacionadas a la Biorrefinería de residuos agroindustriales, entre estos la cáscara de naranja lo que ha motivado a la extracción de moléculas de gran interés, principalmente, para la industria alimenticia y otras, como polifenoles totales, aceite esencial y pectina. Estas moléculas de tipo orgánica sirven de suministro en otros procesos industriales como sub reactivos para la generación de nuevos productos, además, al provenir de una biomasa residual se convierte en un recurso renovable, sostenible y amigable con el ambiente.

Se conoce, que los estudios previos han alcanzado solo a comprobar de manera superficial la obtención de los compuestos precedentes. Sin embargo, con este proyecto integrador se buscan alternativas sostenibles abordadas desde los estudios del arte y ensayos de tipo prueba y error, para cuantificar concentraciones y rendimientos según técnicas de experimentación, caracterización y valoración de la biomasa, para la verificación de su aprovechamiento y la viabilidad del uso de recursos enfocado a una Economía Circular.

Por lo tanto, para dar un alto impacto a este proyecto, se debe controlar las variables de interés como la cantidad de materia prima a utilizar, parámetros de control, rendimientos y criterios técnicos en base a las moléculas objetivos, recursos económicos disponibles y el impacto ambiental asociado a esta producción.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Plantear una metodología experimental de transformación de desechos agroindustriales, cáscara de naranja, mediante técnicas de ensayos fisicoquímicos, para su conversión en aceite esencial, polifenoles totales y pectina aplicando un aprovechamiento sostenible al residuo agroindustrial.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Determinar el rendimiento del contenido de polifenoles totales expresado como ácido gálico mediante una técnica colorimétrica.
- Evaluar la concentración de d-Limoneno obtenido mediante ensayos experimentales controlados basado en extracción asistida por ultrasonido.
- Desarrollar una reacción química fundamentado en una hidrólisis ácida asistido por sonicación para la extracción de pectina.

## **1.5 Marco teórico**

### ***1.5.1 Naranja y sus propiedades***

La naranja dulce o también denominada *citrus sinensis* al igual que otras frutas es considerada un alimento nutritivo que provee un sinnúmero de beneficios debido a sus propiedades fisicoquímicas, esta fruta se produce a gran escala en diferentes países a nivel mundial, donde destacan Brasil, México y Estados Unidos como los representantes en el continente americano (Alsina et al., 2012). Por otro lado, se considera que la naranja es el cítrico más relevante dentro del ámbito económico e industrial, considerando que de sus semillas y principalmente de su cáscara se obtienen aceites esenciales que son usados principalmente en la industria medicinal (Sharifi et al., 2007). Para que la fruta en cuestión sea considerada de calidad

se deben cumplir diversos factores como por ejemplo el aspecto exterior, lo mismo que comprende el color, tamaño, madurez adecuada y aroma, sin embargo, lo mencionado es primordial para la alimentación diaria, mientras que para el desecho el cual es considerado como el 50% del total del peso de la fruta no se considera la apariencia física ya que las cáscaras de naranja como tal son desechadas sin cumplir con estándares físicos. Este residuo puede ser utilizado dentro de otros procesos químicos en donde son pretratados y consecuentemente usados como materia prima para la elaboración de otros productos como por ejemplo cosméticos, medicamentos, resinas, ceras, alimento para ganado, antioxidantes, fertilizantes, entre otros (López, 2014). En el caso de la industria farmacéutica se utiliza la cáscara de naranja para extracción de aceite esencial como por ejemplo d-limoneno, para la obtención de pectina y ciertos polifenoles entre los que destacan la hesperidina y naringenina (Rincón et al., 2005).

Los cítricos de manera general son deseables principalmente por sus propiedades funcionales, si bien es ciertos, estas frutas suelen ser interesantes por su contenido de fibra, sin embargo, lo que resalta en su composición es su capacidad antioxidante. La naranja en específico tiene un alto contenido de fibra y vitaminas, adicionalmente tienen otros compuestos bioactivos asociados, entre los que destacan los flavonoides y terpenos y presentan propiedades antioxidantes atractivas (Lario et al., 2004).

### ***1.5.2 Composición química de la cáscara de naranja***

Las principales características químicas de la cáscara de naranja se ven afectadas por diversos factores, destaca la temperatura y su efecto sobre los fenoles al igual que la cinética de la actividad antioxidante, es importante mencionar que este desecho mencionado contiene ingredientes nutricionales como azúcares solubles, proteínas y minerales, así como también agentes antioxidantes como fenoles y vitamina C (M'hiri et al., 2015). La cáscara de naranja

puede ser usada como materia prima para la producción de biogás, etanol o compuestos aromatizantes volátiles, de igual manera para la extracción de moléculas bioactivas siendo éstas primordiales para el desarrollo de productos saludables, también, este desecho puede ser usado como aditivo natural debido a la presencia de moléculas presentes en su composición, como por ejemplo, la pectina que se obtiene mediante diversos métodos, en donde la extracción ácida es uno relevante, mientras que la fibra dietética es obtenida a partir de procesamiento mecánico (Djilas et al., 2009).

De este subproducto generalmente industrial se obtienen aceites esenciales, en mayor proporción los limonoides, específicamente limoneno, los mismos que son utilizados para la producción de perfumes, cosméticos y productos farmacéuticos. Estos terpenos contienen propiedades biológicas como actividades antifúngicas, antibacterianas y antivirales. Finalmente, se conoce que los cítricos representan una fuente rica en compuestos fenólicos naturales, como lo son los glucósidos de flavanona, destacando la naringina, hesperidina, narirutina y neohesperidina, estos flavonoides tienen la capacidad de actuar como antioxidantes, anticancerígenos, antivirales y antiinflamatorios (Bocco et al., 1998).

### ***1.5.3 Métodos de extracción***

**1.5.3.1 Ultrasonido.** La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es un método que permite obtener compuestos bioactivos de tejidos vegetales, es considerado un proceso rápido y sobre todo eco amigable con el medio ambiente ya que no hace uso de otros equipos ni de reactivos para su funcionamiento, cabe destacar que este método ha ido creciendo en procesos de extracción y refinación ya que permite una obtención en mayor proporción de compuestos bioactivos como por ejemplo aceites esenciales, grupos fenólicos, polisacáridos, pectina, entre otros. Para que el ultrasonido pueda ser efectivo se deben considerar diferentes variables que

cambian de acuerdo con la biomasa y al compuesto orgánico deseado, por ejemplo, el solvente extractor, la temperatura de operación, la potencia ultrasónica, frecuencia, la ratio entre la cantidad de biomasa y solvente a usar, tiempo de extracción (Belhachat et al., 2018). El ultrasonido genera ondas sonoras con una intensidad específica las cuales permiten el rompimiento de las células vegetales presentes en la biomasa, consecuentemente se liberan las moléculas orgánicas y son extraídas por el solvente usado. El ultrasonido se clasifica en baja potencia la misma que comprende un rango de 100 kHz en adelante, mientras que el de alta potencia oscila de 20 a 100 kHz, el primero se utiliza dentro de la industria alimentaria para evaluar ciertas propiedades fisicoquímicas como estructura, composición, entre otras, mientras que el de alta potencia se usa en procesos más sofisticados como cristalización, secado, inactivación de enzimas y más (Spigno & De Faveri, 2009).

La sonicación en particular se basa en la intensificación de la transferencia de masa, el rompimiento celular, la penetración de solventes, el efecto capilar y el corto tiempo de extracción. Por otro lado, la sonicación favorece la destrucción de las glándulas externas de las estructuras del tejido vegetal, en donde ocurre una transferencia de los componentes que se encuentran disueltos en sentido de la estructura celular hasta los capilares, durante este proceso también ocurre el fenómeno de cavitación en donde debido a las ondas sonoras del ultrasonido se producen múltiples microburbujas donde se da la nucleación del luego para luego crecer y finalmente colapsan hasta su rompimiento convirtiendo así energía sónica en energía mecánica en forma de ondas de choques (Seidi Damyeh et al., 2016).

**1.5.3.2 Hidrólisis ácida.** El método de extracción por hidrólisis ácida es el proceso convencional para obtener pectina de alimentos vegetales, consiste básicamente en someter a la biomasa a una ruptura molecular en un medio ácido establecido, considerando que para extraer

pectina de la cáscara de naranja se aplican las siguientes condiciones, en primer lugar, se utiliza generalmente HCl como solvente extractor, a temperaturas de 75, 85 y 95 °C, un pH de 1.2, 1.6 y 2, mientras que el tiempo de extracción varía alrededor de 20, 40 y 60 minutos, es importante mencionar que estas condiciones dependen del solvente a utilizar y del tejido vegetal, sin embargo, se rigen por un rango muy estrecho para las condiciones de extracción (Baltazar Flores et al., 2013).

## **Capítulo 2**

## **2.1 Metodología**

### ***2.1.1 Preparación de la Biomasa.***

Como punto inicial se recolectaron cáscaras de naranjas proveídas por Corporación Favorita, específicamente en las bodegas de “Megamaxi” ubicado en Los Ceibos, posteriormente se llevó a cabo un lavado con agua potable separando la pulpa y las semillas de la cáscara, una vez concluida esta etapa primaria se realizó una desinfección para evitar el crecimiento microbiológico en la materia prima, la esterilización consistió en sumergir las cáscaras durante 10 minutos en Citrosan al 0.25% estableciendo una desinfección segura sin poner en riesgo las moléculas a estudiar. Cabe recalcar que el Citrosan es un desinfectante de origen natural que puede ser usado directamente en alimentos sin provocar algún riesgo en el ser humano (Internacional, 2018). Posteriormente, se dejaron las cáscaras de naranja durante 10 minutos para que liberen de forma natural la humedad presente, una vez secadas sin necesidad de un agente externo se almacenaron en un cuarto frío a una temperatura de 5 °C para que no exista crecimiento de microorganismos. Finalmente se cortaron las cáscaras en pequeños trozos de aproximadamente 3 a 5 mm para luego someterlos a procesos de secado, molienda y tamizado para de esta manera obtener una harina de cáscara de naranja con un tamaño de partícula apropiado (Ortega & Ortiz, 2021).

### ***2.1.2 Reactivos y Equipos***

El proyecto está basado en la obtención y caracterización de 3 moléculas diferentes, aceite esencial (d-limoneno), polifenoles totales y pectina, cabe resaltar que para los 3 procesos se encuentra involucrado el ultrasonido, ya que la finalidad de este equipo es romper las moléculas mencionadas anteriormente de tal manera que la misma se active en el medio y sea absorbida por el solvente utilizado.

**2.1.2.1 Extracción de d-limoneno.** Para el caso de d-limoneno se usan equipos como ultrasonido ARGO LAB modelo DU-100 con una potencia de 200 W y 20 kHz, también se cuenta con una bomba de vacío marca CENCO para poder separar mediante filtración la biomasa sólida del solvente con el aceite esencial, considerando que se utiliza un papel filtro cuantitativo CHMLAB (42) de 2-3  $\mu\text{m}$  para poder retener las partículas más pequeñas, finalmente se utiliza un sistema de rota evaporación marca FISC GROUP modelo R-300 que está compuesto por un baño María, un condensador que proporciona un gas refrigerante, un balón para recolectar el solvente utilizado, mientras que como solvente se utiliza n-hexano grado reactivo 95% marca Merck, de esta manera se recupera el hexano y se obtiene como producto final el d-limoneno.

**2.1.2.2 Extracción de polifenoles totales.** En el proceso de obtención de polifenoles totales los pasos son similares al usado para la extracción de d-limoneno, considerando que los solventes a utilizar son etanol absoluto 99% marca Fisher Chemical y agua destilada. Para cuantificar los polifenoles totales se emplea el método de Folin-Ciocalteu, protocolo CBE-PROT-BP046, el cual establece al ácido gálico anhidro 97.5 – 102.5% marca Sigma Aldrich como estándar para establecer la curva de calibración, la misma que permite cuantificar los polifenoles totales presentes en una muestra, los resultados se expresan en miligramos de ácido gálico/gramo de muestra (Franco-Agurto & Suárez-Quirumbay, 2014).

**2.1.2.3 Extracción de pectina.** Para la extracción de pectina el proceso varía con respecto a los otros dos, se realiza una hidrólisis ácida empleando ácido cítrico marca Fisher Scientific 99% como reactivo, como equipos se utiliza una centrífuga marca Internacio que alcanza las 4000 rpm, bomba de vacío marca CENCO para emplear un sistema de filtrado usando papel filtro cuantitativo (42) de 2-3  $\mu\text{m}$ , phmetro marca Cole-Palmer, balanza termo agitadora marca OHAUS, estufa marca QUIMIS, mientras que como reactivos adicionales se

hace uso de ácido clorhídrico marca Merck 95-97%, agua destilada y etanol absoluto 99% marca Fisher Chemical.

### ***2.1.3 Diseño de la línea de proceso***

Durante el diseño de la experimentación se consideró una línea de proceso considerando las propiedades relacionadas con la temperatura de trabajo, la polaridad del solvente y el rompimiento de membranas para extraer cada molécula. Por lo tanto, se determinó que el proceso inicie por la obtención de polifenoles, seguido por la extracción de aceite esencial y finalmente pectina. Por ejemplo, a altas temperaturas los polifenoles se degradan, no obstante, la extracción de pectina por el contrario requiere de temperaturas elevadas ya que esto promueve el rompimiento de estructuras. Adicionalmente, se dará a conocer las variables de control con la finalidad de hallar las condiciones que promuevan el incremento del rendimiento de cada producto, que serán cuantificados y desarrollados en base a procedimientos bibliográficos y el criterio técnico experimental.

**2.1.3.1 Determinación de Polifenoles Totales por EAU.** Espinosa et al. (2022) establece que las condiciones de trabajo para la extracción de polifenoles son a 80°C, SSR 1:20 usando 100% etanol, durante 30 min, bajo una potencia ultrasónica de 180 W y una frecuencia de 42 kHz. Sin embargo, Kumar et al. (2021) señalan que la exposición a largas duraciones de ultrasonido o niveles muy altos de SSR, temperatura y potencia puede causar daños estructurales al soluto y degradar los compuestos bioactivos, asimismo, Agcam (2022) confirma que los polifenoles decrecen por la variación de elevadas temperaturas y/o calentamiento a altas prolongaciones. En base a esto Wang et al. (2023) sugiere que las condiciones estables de trabajo son a 17.6 mL/g, 28 min, 26 °C, y 60 W.

De acuerdo con el criterio experimental se procedió a trabajar con concentraciones agua-etanol (v/v) 1:1; 1:3, 100% agua y 100% etanol, en un SSR 1:20 a 28°C durante 30 minutos, las condiciones del baño ultrasónico son 200 W y 20 kHz de potencia. Una vez obtenido el extracto se procedió filtrar por vacío y almacenar en refrigeración.

Para una comparación entre los resultados de las referencias y las condiciones establecidas en base al criterio técnico se procedió a determinar el CPT mediante técnica espectrofotométrica por microplaca, en efecto se utilizó la curva de calibración de AG ( $Y = 0,003485 - 0,002738$ ) en términos de  $\mu\text{AG/mL}$ .

**2.1.3.2 Obtención de aceites esenciales por EAU.** Según Khandare et al. (2021) la extracción de AE por EAU reduce el tiempo de residencia en comparación a los métodos convencionales, de tal manera propone que:

Para lograr el máximo rendimiento de la extracción de d-limoneno, el hexano se utilizó como disolvente no polar de grado reactivo con biomasa: relación disolvente de 1:10, tamaño de partícula de 2 mm utilizando la velocidad de agitación 300 rpm a 60 °C bajo potencia ultrasónica de 80 W, frecuencia 25 kHz y 50% ciclo de trabajo.

Adicional a esto, para complementar el diseño experimental se propuso evaluar 4 parámetros presentados en la tabla 2.1 que son la temperatura, el tiempo de contacto, el SSR y la agitación, respecto a las condiciones del baño ultrasónico se mantuvo fija la potencia 200W y la frecuencia de trabajo 42 kHz. En base a las variables de control presentadas la selección conveniente de las condiciones se identifica mediante propiedades organolépticas como color y olor, además, de la fluidez del aceite una vez recuperado por filtración y evaporación, asimismo, se logra evaluar el rendimiento en términos del aceite obtenido a las diferentes condiciones.

Después de esto, se procedió a identificar la concentración del terpeno d-limoneno mediante HPLC.

**Tabla 2.1**

*Parámetros de estudio para la determinación de las condiciones para la extracción de d-limoneno*

No	X1 (SSR)	X2 (T, °C)	X3 (t,min)	X4 (Agitación)	Potencia (W)	Frecuencia (kHz)
1	1:10	70	15	-		
2	1:10	60	20	-		
3	1:10	50	60	Manual	200	40
4	1:15	50	30	Manual		
5	1:15	50	30	Manual		
6	1:20	50	30	Manual		

*Nota.* Elaboración propia (2023).

### 2.1.3.3 Separación de Pectina por EAU.

De acuerdo con la extracción de pectina Ivanova et al. (2016) define que:

La forma más común de extraer pectina de los residuos de cítricos es emplear hidrólisis ácida, que consiste en romper los enlaces de la pectina para obtener unidades de ácido galacturónico a altas temperaturas (a partir de 80-116°C) y valores de pH bajos (1-3) con la ayuda de ácidos inorgánicos u orgánicos diluidos. El autor propuso el uso de ácido cítrico como agente de la hidrólisis ya que en los ácidos inorgánicos se ha evidenciado la liberación de vapores tóxicos y su inevitable impacto ambiental.

Para este proceso se hizo uso de la metodología de Tsouko et al. (2020) quien definió que para alcanzar un alto rendimiento de pectina las condiciones son 90°C, 160 min, pH 2, una ratio de 1:25 (g:mL) y agitación de 200 rpm.

Por otra parte, obtener pectina induce a una línea de post proceso para esto se optó por la metodología de Pereira et al. (2016) que estableció:

Después de la centrifugación (3000 rpm, 30 min, 10 °C), el sobrenadante fue filtrado al vacío, añadido con el mismo volumen de etanol absoluto, y el pH se ajustó a 3,5 (pH de solubilidad mínima de pectina) con KOH o HCl. La mezcla se agitó durante 30 min, se dejó precipitar a 4 °C durante 2 h y se centrifugó (15 min, 4 °C, 3500 rpm).

El pellet se recogió, se lavó con etanol 70% (v/v), se centrifugó de nuevo (20 min, 4 °C, 3500 rpm) y se secó a temperatura ambiente (23.2 °C) durante 24 h. Luego se añadió con agua destilada (pellet: proporción de agua, 1: 3 w/ v), agitado (Ystral, 20 min), tenía su pH ajustado a 7, y fue nuevamente secado y molido a un polvo fino mediante el uso de un molino básico (A10, IKA GmbH, Alemania).

Como parte del diseño experimental se integró el uso del ultrasonido para la obtención de pectina, de tal manera comparar rendimientos en base a una hidrólisis directa y una hidrólisis asistida por sonicación, con el fin de disminuir el tiempo de residencia del proceso convencional se optó trabajar a condiciones de 80 / 90 °C a 60 /120 min y pH 2. Se debe considerar que este proceso se realizará por duplicado y que 90 °C es la temperatura máxima de trabajo del equipo.

#### **2.1.4 Costos**

Se realizará un análisis de costos para la obtención de un flujo de caja con una proyección a 5 años en donde se propondrán métodos de valoración de inversiones como el VAN, TIR y TMAR para conocer la rentabilidad y viabilidad del proyecto.

## **Capítulo 3**

### **3.1 Análisis y resultados**

Los análisis y resultados en esta sección se presentarán conforme a la línea de producción propuesta, es decir, polifenoles, aceite esencial y pectina, asimismo, se debe destacar que el interés de este estudio está enfocado en la cuantificación de extractos conforme a las variables de control propuestas dependiente de la molécula a extraer, esto con la finalidad de medir rendimientos y fundamentar la viabilidad técnica de la integración del ultrasonido en cada proceso.

#### ***3.1.1 Producción de polifenoles totales***

Los compuestos fenólicos, los metabolitos secundarios más abundantes de las plantas, están ganando más atención de todo tipo de público debido a sus potentes, múltiples y extensos efectos promotores de la salud y actividades medicinales (Panwar et al., 2021).

Además del uso directo como agentes de mejora de la salud y/o contra enfermedades en medicina o nutraceuticos, los fenoles han sido ampliamente utilizados en alimentos (agentes antibacterianos, agentes aromatizantes, colorantes, etc.) y cosméticos (antioxidantes, cosméticos para blanquear la piel, perfumes, etc.) (Lv et al., 2015).

Debido a esta gama de usos es esta molécula de interés de estudio.

Los polifenoles son la base de la línea de extracción dentro de este proceso, en este periodo se mantuvo bajo control la concentración de los sustratos agua:etanol, de tal manera que se presenta en la tabla 3.1 los diferentes parámetros y concentraciones de trabajo 1:1, 1:3 , 100% agua y 100% etanol, por tal se optó por rotular cada extracto obtenido en códigos P11, P13, P100A y P100E, respectivamente. La concentración toma un rol importante dentro de la extracción de los polifenoles ya que al tratarse de moléculas tipo polar por la presencia de hidroxilos en los grupos carbonilos se aprovecha la diferencia de solubilidad entre el solvente y

soluto contenido en la biomasa, este método corresponde a una técnica de separación a partir de una mezcla sólido-líquido frecuentemente utilizada en los laboratorios químicos.

Otras de las variables de alto impacto mas no de control son la temperatura, el tiempo de extracción y el SSR, ya que en base al criterio técnico experimental junto con la literatura se estableció que los polifenoles son moléculas que se degradan o pierden sus propiedades bioactivas por la prolongación a las elevadas temperaturas (termosensibles), debido a esto se procedió a trabajar a condiciones fijas de 28°C, 30 min y 1/20 respectivamente.

**Tabla 3.1**

*Nota.* Elaboración propia (2023)

Código	Concentración (v/v)	Mo(G)	T (°C)	t(min)
<b>Agua:Etanol</b>				
<b>P11</b>	1:1	5.0068		
<b>P13</b>	1:3	5.0254		
<b>P100A</b>	100% Agua	5.0036	28	30
<b>P100E</b>	100% Etanol	5.0021		

Para la obtención de cada extracto a las diferentes concentraciones de solvente se procedió a utilizar un método espectrofotométrico por microplacas que se soporta en las leyes de Lambert-Beer utilizando la transmitancia y absorbancia, dos propiedades que se integran en la ecuación de una curva de calibración ajustada en términos de ácido gálico, de esta manera medir el contenido de polifenoles totales por muestra.

En la tabla 3.2 se observó que la mayor concentración se obtuvo en el tratamiento P11 con un valor de 1877,43 µg de ácido gálico/ml de solvente, es decir que existe una mejor solubilidad entre el solvente y el soluto en esta proporción, en segundo lugar el tratamiento P100A recopila una concentración no tan lejana al primero 1812,87 µg de ácido gálico/ml de solvente y que a cierta instancia sería más conveniente utilizar ya que el sustrato no representa

ningún riesgo a la salud, posee alta polaridad y es de fácil separación, no obstante, durante la experimentación existen complicaciones en la filtración por vacío lo que implica una reducción en la cantidad a obtener de extracto, además, este posee turbidez, por ende afecta a las propiedades organolépticas y también influye en la espectrofotometría por lo que se podría inducir que no se estaría midiendo un valor real. Por otra parte, P11 a diferencia de P100A es de fácil filtrado y se obtiene un extracto más limpio, considerando que, aunque el etanol es un compuesto tóxico este se puede volatizar fácilmente, basados en dicha premisa esta es una de las principales razones por la cual no se escogería el tratamiento P13 debido al alto contenido de etanol, finalmente, se evidencia que P100E corresponde al valor más bajo de concentración de polifenoles totales 589,77  $\mu\text{g}$  de ácido gálico/ml de solvente por lo que se descartaría el uso de este tratamiento.

**Tabla 3.2**

*Resultados de los ensayos realizados para la extracción de polifenoles.*

<b>Tratamiento</b>	<b><math>\mu\text{g}</math> de ácido gálico / ml de solvente</b>	<b>Desviación</b>
<b>P11</b>	1877,43	0,02
<b>P100 A</b>	1812,87	0,02
<b>P13</b>	1604,83	0,001
<b>P100 E</b>	589,77	0,01

*Nota.* Elaboración propia (2023)

Se presenta en la tabla 3.3 el rendimiento del contenido de polifenoles totales en términos de mg de ácido gálico por g de biomasa seca, obteniendo para el tratamiento P11 el valor más aceptable y que en comparación a otros estudios podría señalarse es de alta factibilidad, llámese al caso el estudio de Wang et al. (2023) que a las condiciones establecidas alcanzó un rendimiento del 24,07 %, Espinosa et al. (2022) en su propuesta procedimental obtuvo un 32,57%, por otra parte, Boukroufa et al., 2015 logró un 5%, sin embargo, en este estudio a través

de los parámetros propuestos y las propiedades del baño ultrasónico se logró un rendimiento del 37,55%, estos porcentajes se evidencian en la Figura 1 que en base al orden propuesto adopta una tendencia decreciente, adicional se soporta y justifica la efectividad de insertar el ultrasonido como medio de extracción ya que este sistema tiende a favorecer la transferencia de masa e incrementar el efecto de cavitación, del cual Kumar et al. (2021) define que, como un actor entre una serie de interacciones complejas, un efecto de cavitación más fuerte mejora la hinchazón, hidratación, fragmentación y formación de poros de la matriz del tejido vegetal, aumenta la difusividad y la disolución del soluto en el disolvente, y en consecuencia aumenta el rendimiento de compuestos de extracción.

**Tabla 3.3**

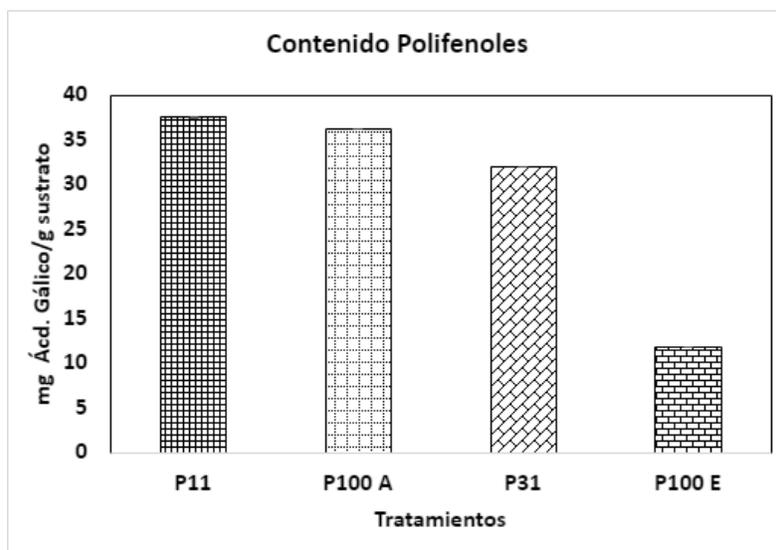
*Rendimiento del contenido de polifenoles totales*

<b>Tratamiento</b>	<b>mg de ácido gálico /g biomasa seca</b>	<b>Desviación</b>
<b>P11</b>	37,55	0,02
<b>P100 A</b>	36,26	0,02
<b>P13</b>	32,01	0,001
<b>P100 E</b>	11,80	0,01

*Nota.* Elaboración propia (2023)

### Figura 3.1

*Diagrama del rendimiento en la extracción de polifenoles vs los ensayos realizados*



*Nota.* La figura muestra el rendimiento de cada uno de los ensayos realizados.

#### 3.1.2 Producción de aceite esencial

El d-limoneno es un monoterpeno que constituye el 90% del aceite esencial presente en la corteza de varios cítricos, entre estos destaca la naranja, además de ser considerado como materia primera en diversas industrias como farmacéutica, cosmética, alimenticia entre otras es conocido por presentar propiedades profilácticas y acciones quimiopreventivas contra cánceres de mama, hígado, estómago y pulmón, adicionalmente, el limoneno también reduce en gran cantidad los niveles de colesterol y presentan propiedades antimicrobianas (Drago et al., 2006).

De acuerdo con la línea de producción mencionada en el capítulo 2, se establece que la extracción de aceite esencial es la segunda etapa, considerando que la biomasa a utilizar es la obtenida luego de realizar la filtración al vacío en la sección 3.1.1 siendo ésta la rotulada como tratamiento P11 debido al mayor valor de contenido de polifenoles totales medido en  $\mu\text{g}$  de ácido

gálico/ml de solvente como se puede observar en la **figura 3.1**, ya que de esta manera se maximiza la extracción de aceite esencial.

La condición por controlar en esta etapa para la extracción de aceite esencial es la relación entre el solvente y la biomasa o SSR, partiendo de que el solvente para esta etapa es hexano, es importante mencionar que es un compuesto no polar, su solubilidad en agua es baja y su punto bajo de ebullición por ello es un reactivo idóneo para la extracción del D-L considerando que este compuesto orgánico de igual manera es no polar, en donde debido a la interacción de la sonicación se disocia el limoneno de la biomasa y es captado por el hexano.

Para poder determinar las condiciones deseables de extracción de aceite esencial se hicieron ensayos de prueba y error, considerando dos escenarios diferentes para considerar si la línea de producción previamente establecida era viable, esto es, extracción de aceite esencial de una biomasa tratada en la obtención de polifenoles totales y, por otro lado, una biomasa sin tratar.

**Tabla 3.4**

*Condiciones establecidas para la extracción de aceite esencial*

Condiciones	Biomasa sin tratar		Biomasa previamente tratada en extracción de polifenoles	
	SSR	1:15	1:20	1:15
Tiempo (min)	20	30	30	30
T (°C)	60	50	50	50
Volumen solvente (mL)	250	200	15	20
$m_i$ biomasa (g)	25.0876	10.051	1.003	1.0022

*Nota.* Elaboración propia (2023).

Partiendo de las condiciones establecidas en la tabla 3.4, resaltando que la diferencia entre la biomasa utilizada en ambos escenarios está relacionada a la biomasa ya tratada en la

extracción de polifenoles totales, es por ello que en el segundo caso la masa es mucho menor en comparación al primero, sin embargo, el rendimiento tentativamente sería directamente proporcional, luego de emplear la metodología establecida en la sección 2.1.3.2, aclarando que las condiciones establecidas en la tabla 2.1 son con biomasa sin tratar, mientras que en la tabla 3.4 se tomaron los 2 ensayos más relevantes, es decir, en los que se obtuvieron un mejor resultado en donde a partir de las masas de biomasa utilizada se buscó determinar una diferencia y así establecer un estudio con un rango más amplio, por ello se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 3.5**

*Resultados obtenidos luego de la extracción de aceite esencial*

Resultados	Biomasa sin tratar		Biomasa previamente tratada en extracción de polifenoles	
$m_{\text{balón}} \text{ (g)}$	100.8908	100.8642	127.4712	100.8642
$m_{\text{balón+aceite}} \text{ (g)}$	104.9393	101.2428	127.8083	101.1481
$m_{\text{aceite}} \text{ (g)}$	4.0485	0.3786	0.3371	0.2839
<b>Rendimiento (%)</b>	16.14	3.77	33.61	28.33

*Nota.* Elaboración propia (2023).

De acuerdo con la tabla 3.5 se puede observar que el rendimiento más alto se lo obtuvo en el ensayo realizado con la biomasa previamente tratada con un valor de 33.61%, esto implica que la línea de producción previamente establecida es viable, siendo este ensayo comparado con otro en donde la extracción de aceite esencial se realizó con una biomasa sin ser sometida a un proceso previo como lo fue en la extracción de polifenoles, para el caso de los ensayos realizados con SSR diferentes dentro de la línea de proceso se puede determinar que el uso de una relación mayor entre biomasa y solvente no influye o no otorga un rendimiento mayor, lo que es

conveniente ya que con un volumen menor de hexano se obtiene un mayor rendimiento, es decir, si se usa 1 gramos de biomasa tratada y 15 mL de hexano a las condiciones establecidas en la tabla 6 se obtiene un rendimiento de 33.61% mientras que a las mismas condiciones pero con 20 mL de hexano el rendimiento es de 28.33%, logrando consumir menos reactivo y así enfocar la extracción de aceite esencial como un proceso sostenible, siendo así el tiempo de sonicación de solo 30 minutos, un volumen de 15 mL de hexano por cada gramo de biomasa, además, recuperando el hexano en el proceso de evaporación y sin un proceso que conlleve el uso de otro reactivo, únicamente utilizando procesos con un bajo consumo energético como el caso de una bomba para filtración al vacío y un rota-evaporador que es usado en un rango de 5 a 10 minutos.

Luego de haber obtenido las condiciones más viables para la obtención de D-L por extracción mediante ultrasonido se realizó una identificación y cuantificación mediante cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas en donde se realizaron ensayos por triplicado con las condiciones ya establecidas, logrando así obtener la presencia de un pico identificado como limoneno en una de las muestras analizadas, presentando una concentración relativa de 22.9 ppm D-L con un tiempo de retención de 7.385 minutos, el perfil cromatográfico del aceite esencial al igual que los resultados otorgados por el Laboratorio de Análisis Instrumental se pueden apreciar en el Apéndice H.

### ***3.1.3 Producción de pectina***

Las pectinas se definen como un grupo de polisacáridos de pared celular vegetal ampliamente distribuidos que contienen ácido galacturónico unido en las posiciones 1 y 4 (Dranca & Oroian, 2018). En la industria alimenticia tiene un alto alcance ya sea como agente gelificante, estabilizador, espesante y emulsificante, también está involucrado en la industria

farmacéutica ya que se ha demostrado los beneficios y su bioactividad promotora como medicamento para la cicatrización de heridas siendo de alto interés en la ingeniería de tejidos.

La extracción de pectina frecuentemente se hace bajo una hidrólisis ácida ya sea el solvente orgánico o inorgánico, por lo tanto, es común trabajar a condiciones de alta temperatura, pH menor a 3 y tiempos prolongados, manteniendo estos parámetros el sistema tiende a producir la lisis celular, para así extraer el polisacárido.

La tabla 3.6 hace referencia a las condiciones de trabajo establecidas en este estudio para la obtención de pectina, las pruebas se realizan por duplicado con la finalidad de disminuir desviaciones al momento de cuantificar y medir rendimientos. Se propone dos variables de control como son la temperatura y el tiempo para corroborar si la integración del ultrasonido representa una viabilidad factible en términos de la extracción en comparación a usar el método convencional, asimismo, se debe considerar el solvente con el que se activará la reacción, ácido cítrico, del cual anteriores estudios han demostrado exitosos resultados usando este solvente, incluyendo también que este ácido orgánico en comparación a los ácidos inorgánicos resulta ser menos riesgoso para la salud teniendo en cuenta que el compuesto a obtener será para post consumo.

**Tabla 3.6**

*Parámetros para la extracción de pectina*

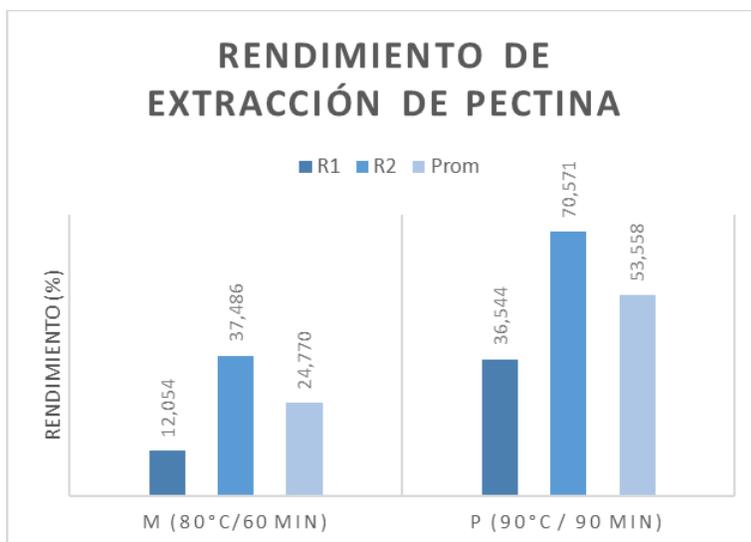
<b>Muestra</b>	<b>T (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>SSR</b>	<b>t (min)</b>	<b>M<sub>o</sub> (g)</b>
<b>M1</b>	80	2	1/25	60	0,0672
<b>M2</b>					0,1814
<b>P1</b>	90			90	0,0706
<b>P2</b>					0,0700

*Nota.* Elaboración propia (2023).

La figura 3.2 hace la comparación de los rendimientos obtenidos para las condiciones establecidas, respectivamente. Se evidenció que un alto rendimiento del 53,56% se alcanzó a las condiciones de 90°C y 90 minutos, mientras que, un 24,77% se logró a 80°C y 60 minutos ambos con asistencia de baño ultrasónico, no obstante, el estudio de Tsouko et al. (2020) trabajando por hidrólisis ácida a las condiciones de 90°C, 160 minutos y pH 2 midió un rendimiento del 32,60%, de la misma manera Güzel & Akpınar (2019) a 80°C, 60 minutos y pH 1 calculó un rendimiento del 11.46%. Se realizó la comparación de los estudios presentados con los resultados captados en la experimentación es evidente la diferencia plasmada en el uso del ultrasonido lo que permite solidar la factibilidad de obtener casi un 39% más de rendimiento a un tiempo de residencia reducido en un 44% a diferencia del método convencional.

**Figura 3.2**

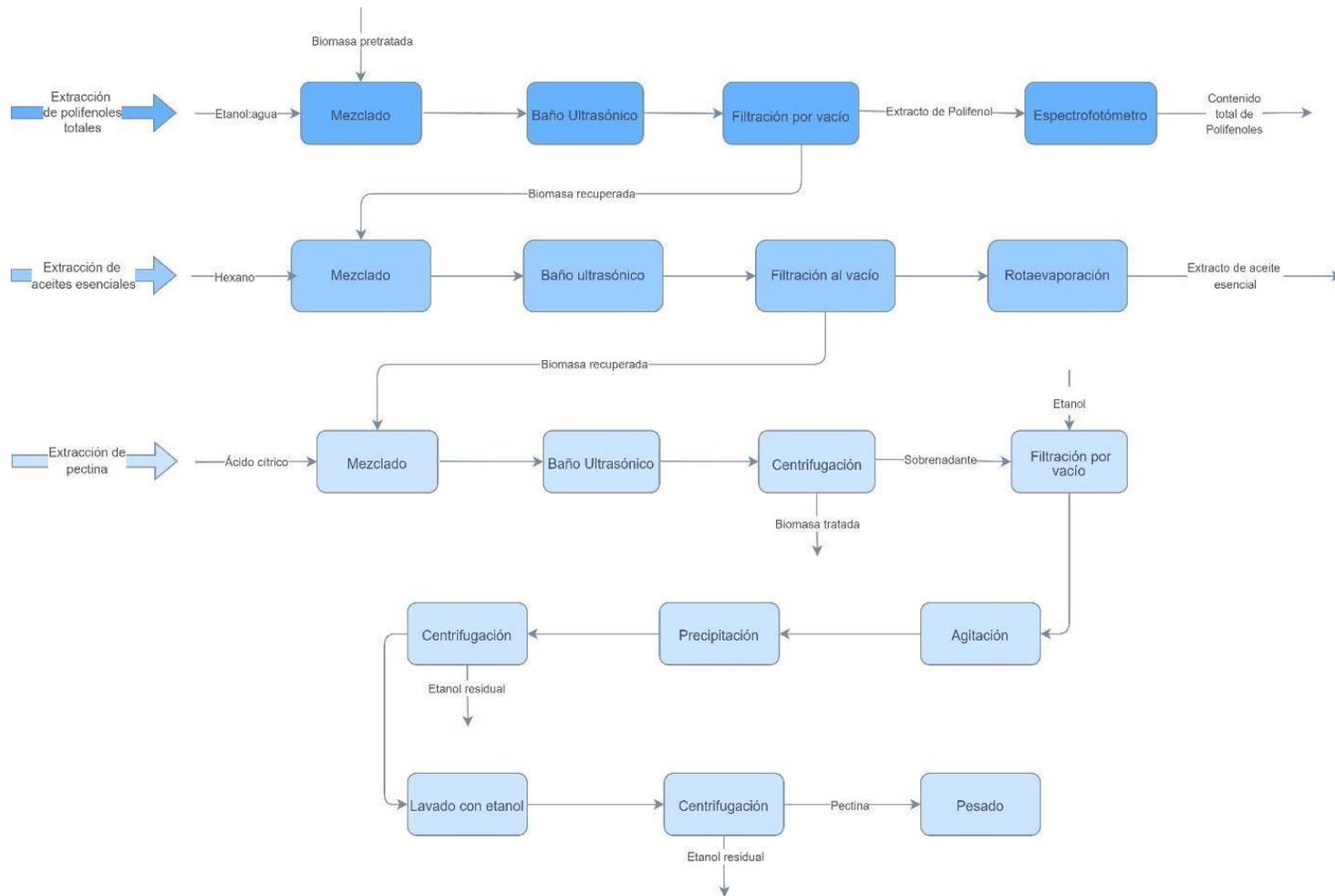
*Diagrama del rendimiento de pectina para los dos ensayos realizados*



### 3.1.4 Diagrama de bloques de la línea de producción

**Figura 3.3**

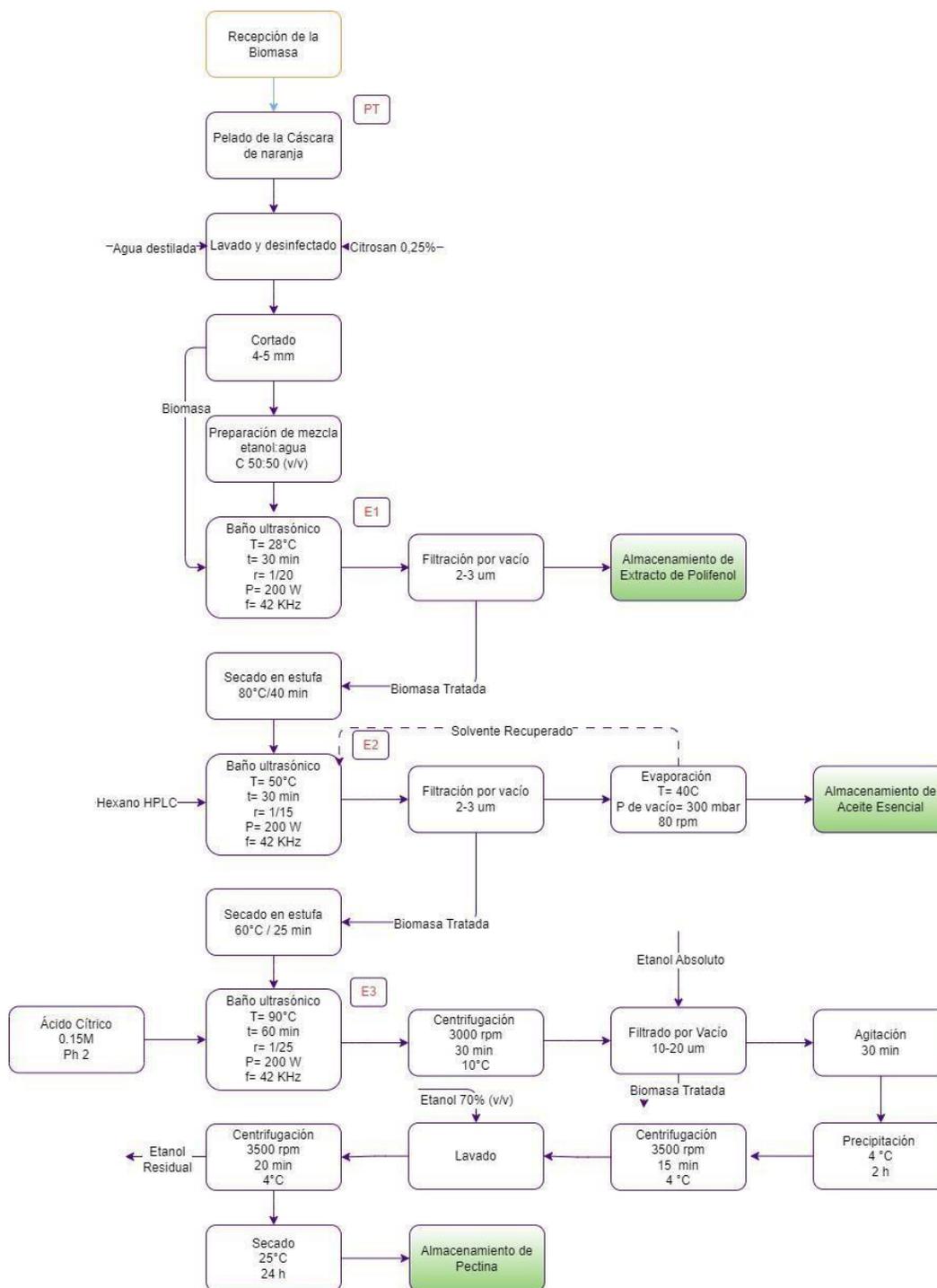
*Diagrama de bloques de la línea de producción para las 3 etapas de extracción*



### 3.1.5 Diagrama de flujo de la línea de producción

**Figura 3.4**

Diagrama de flujo de la línea de producción para las 3 etapas de extracción



### **3.1.6 Análisis de Costos**

Partiendo de los ensayos a escala laboratorio se pudo determinar la producción en kg/año, los resultados que se obtuvieron en base a los análisis en laboratorio fueron, para el caso de aceite esencial es de 33.61 kg/día, polifenoles de 37.36 kg/día y de pectina de 53.56q kg/día partiendo de 100 kg de biomasa, mientras que en el Apéndice O se puede observar lo mencionado anteriormente al igual que el precio por kg de cada producto, obteniendo así ganancias totales de \$3718.12/día considerando los 3 compuestos.

Por otro lado, para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto se realizó un flujo de caja con una proyección a 5 años (Apéndice P) en donde se consideraron ventas por cada año al igual que los costos variables (suministros 1 y 2, véase en los Apéndices M y N respectivamente), costos fijos en donde se consideró solo el alquiler del lugar de 300 m<sup>2</sup> en donde se establecerá la planta para la producción de los 3 compuestos (Apéndice L), además en el año 0 se consideró una inversión por equipos de \$45500 (Apéndice K) y un capital de trabajo estado (Apéndice P).

Finalmente, con estas consideraciones realizadas se pudo determinar que el VAN es de \$508092.76, considerando así que el proyecto si es viable, mientras que la TMAR calculada fue de 20.78% partiendo de la inflación de los últimos 5 años y un premio al riesgo por año del 20%, por otro lado, el TIR fue de 33.24%, con estos últimos valores se puede establecer que es rentable llevar a cabo este proyecto debido a que generará ingresos a partir del segundo año.

## **Capítulo 4**

## **4.1 Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1.1 Conclusiones**

A partir del diseño para la extracción de polifenoles, aceite esencial y pectina, se pudo consolidar una aplicación para un triple aprovechamiento de la cáscara de naranja en beneficio de buscar una solución viable ante este desecho considerando tecnologías, recursos y una línea de proceso continua que permite maximizar la recuperación de moléculas que son de alto interés para otras industrias.

A través de las pruebas experimentales aplicadas se establece que existe un mejoramiento en el rendimiento de las moléculas a obtener debido a la asistencia o integración del baño ultrasónico, en comparación a los estudios del arte recopilados.

Respecto a la extracción de polifenoles a las condiciones desarrolladas se pudo lograr un 37,55% de rendimiento, un valor que representa un incremento comparado a otras réplicas donde hacen uso de la misma tecnología incluyendo también los métodos convencionales.

Asimismo, se determinó una concentración de 22.93 mg de Limoneno por litro de solvente a las condiciones precedentes, estableciendo la presencia de aceite esencial que puede ser obtenido sin hacer uso de procesos convencionales que requieran de derivados fósiles y de elevado tiempo de residencia para separar el producto final. Respecto a la masa de cáscara de naranja utilizada, el rendimiento en términos de aceite reportado fue del 33.61 %.

En base a la obtención de pectina, se corroboró la mejora de la hidrólisis ácida al ser asistida por sonicación, esto se sustenta en una disminución del 43% del tiempo de reacción y un incremento en el rendimiento obtenido del 53.56% mediante el uso de un ácido orgánico propio de los cítricos.

Finalmente, en cuanto al análisis económico se obtuvo un TIR del 33,24% y un TMAR de 20,78% considerando un riesgo de nivel medio, no obstante, mediante el flujo de caja se proyectó una recuperación de lo invertido y rentabilidad en el segundo año.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

En este proyecto satisfactoriamente se pudo cuantificar las moléculas propuestas cumpliendo con los objetivos establecidos, además, a las condiciones de trabajo se logró presentar rendimientos mayores a los publicados en los estudios del arte recopilados, no obstante, de manera general se recomienda optimizar cada proceso de acuerdo con las variables de control definidas.

De manera independiente se propone para polifenoles totales cuantificar y separar mediante un tratamiento extra, polifenoles abundantes en la cáscara de naranja tales como ácidos hidroxicinámicos y flavonoides (Hesperidina) que son de interés en la industria alimenticia y farmacéutica.

Para el aceite esencial, se recomienda trabajar con cáscara de naranja fresca previamente tratada con un solvente polar con el fin de evitar presencia de humedad en el proceso de evaporación, asimismo, sería conveniente caracterizar el aceite mediante ensayos fisicoquímicos para su posterior valorización y alcance hacia las industrias.

Respecto a la pectina, al ser un producto para post consumo debería caracterizarse por ensayos vinculados a normas estandarizadas. Adicional a esto, se propone medir en gramos el sobrenadante obtenido para medir el factor de conversión a pectina, útil para el balance de materia, además, es recomendable evaluar el contenido de ácido galacturónico y el grado de esterificación, dos propiedades de interés de esta molécula.

Finalmente, sería un buen complemento proyectar este proceso experimental a un diseño del proceso a escala piloto, de tal manera corroborar si las condiciones estudiadas se ajustan a este dimensionamiento y su posterior factibilidad económica.

## Bibliografía

- Agcam, E. (2022). Degradation kinetics of pomegranate juice phenolics under cold and warm sonication process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 80(December 2021), 103080. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103080>
- Alsina, D., Nescier, I., Santini, ; Z, Gariglio, ; N, & Cives, H. (2012). Propiedades fisicoquímicas de naranjas cultivadas en la zona centro-este de la provincia de Santa Fe. *Horticultura Argentina*, 31(74), 6.  
[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35772077/201206181734020.1105\\_Alsina\\_HA\\_Base.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1527648046&Signature=zMwb6tyCFX%2BUWVBpbgbntydUm%2Fo%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DAlsina\\_P](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35772077/201206181734020.1105_Alsina_HA_Base.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1527648046&Signature=zMwb6tyCFX%2BUWVBpbgbntydUm%2Fo%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DAlsina_P)
- Baltazar Flores, R., Carbajal Mariños, D., Baca Rodríguez, N., & Salvador Rodríguez, D. (2013). Optimization of the conditions of pectin extraction from lemon rind french (*Citrus medica*) using response surface methodology. *Agroindustrial Science*, 2, 77–89.  
<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.01>
- Belhachat, D., Mekimene, L., Belhachat, M., Ferradji, A., & Aid, F. (2018). Application of response surface methodology to optimize the extraction of essential oil from ripe berries of *Pistacia lentiscus* using ultrasonic pretreatment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 9(May), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.04.003>
- Bocco, A., Cuvelier, M. E., Richard, H., & Berset, C. (1998). Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(6), 2123–2129. <https://doi.org/10.1021/jf9709562>
- Chimborazo, M. (2011). *TEMA : Absorción y Retención de Agua en la Fibra Dietética de*

- Naranja Trabajo de Investigación Sistema Tutorial previo a la Obtención del Título de.*
- Delgado, D. (2018). Evaluación del rendimiento, calidad y actividad antioxidante del aceite esencial de cáscara de naranja fresca de la especie *Citrus maxima* (Burm.) Merr. Familia Rutaceae, obtenido por dos métodos de extracción. *Energies*, 6(1), 1–8.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Djilas, S., Čanadanović-Brunet, J., & Ćetković, G. (2009). By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 15(4), 191–202. <https://doi.org/10.2298/CICEQ0904191D>
- Drago, M., Lopéz, M., & Sainz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 37(4), 58–68.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57937408%0ACómo>
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>
- Espinosa, E., Rincón, E., Morcillo-Martín, R., Rabasco-Vílchez, L., & Rodríguez, A. (2022). Orange peel waste biorefinery in multi-component cascade approach: Polyphenolic compounds and nanocellulose for food packaging. *Industrial Crops and Products*, 187(April). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115413>
- Franco-Agurto, G., & Suárez-Quirumbay, K. (2014). *Determinación del contenido de polifenoles y actividad antioxidante de una bebida láctea elaborada a base de residuos*

*agroindustriales de cacao, café y naranja*. 118.

Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126–133.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>

Internacional, D. (2018). *Soluciones de inocuidad para la industria de cítricos*. 8.

<https://dikeninternational.com/mex/catalogos/pdf/diken-alimentos-citricos.pdf>

Ivanova, N., Gugleva, V., Dobрева, M., Pehlivanov, I., Stefanov, S., & Andonova, V. (2016).

We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % . *Intech, i(tourism)*, 13.

Khandare, R. D., Tomke, P. D., & Rathod, V. K. (2021). Kinetic modeling and process intensification of ultrasound-assisted extraction of d-limonene using citrus industry waste.

*Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 159(September 2020),

108181. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108181>

Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review.

*Ultrasonics Sonochemistry*, 70(July 2020), 105325.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>

Lario, Y., Sendra, E., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 113–117.

<https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2003.08.001>

López, V. (2014). Fortificación de cáscara de naranja (*C. sinensis* var Valencia) por

impregnación con miel. *Universidad Veracruzana. Maestría En Ciencias Alimentarias*, 111.

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46746/LopezHernandezVeronica.pdf;jsessionid=65EB38B46D304394DEB5E66E2AC99E35?sequence=2>

Lv, X., Zhao, S., Ning, Z., Zeng, H., Shu, Y., Tao, O., Xiao, C., Lu, C., & Liu, Y. (2015). Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provide benefits for human health. *Chemistry Central Journal*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13065-015-0145-9>

M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., & Mihoubi Boudhrioua, N. (2015). Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of NEW SCIENCES*, 37(9), 881–890. [www.jnsciences.org](http://www.jnsciences.org)

Moncayo Luján, M. del R., Reyes Munguía, A., & Carrillo Inungaray, M. L. (2018).

Aprovechamiento de subproductos agronómicos. *Tlatemoani: Revista Académica de Investigación*, 9(29), 115–127.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337182&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337182&info=resumen&idioma=EN%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337182>

Ortega, M., & Ortiz, M. (2021). *Diseño de una biorrefinería para la recuperación de cáscaras de naranjas para una empresa procesadora de frutas* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85894102/510-Texto\\_del\\_articulo-2266-1-10-20210630-libre.pdf?1652380733=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto\\_de\\_la\\_acetilacion\\_sobre\\_propiedad.pdf&Expires=1678770408&Signature=XzOLyTsnGnMncjr3REaG](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85894102/510-Texto_del_articulo-2266-1-10-20210630-libre.pdf?1652380733=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto_de_la_acetilacion_sobre_propiedad.pdf&Expires=1678770408&Signature=XzOLyTsnGnMncjr3REaG)

Panwar, D., Saini, A., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in*

*Food Science and Technology*, 111(March), 549–562.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.018>

Pereira, P. H. F., Oliveira, T. Í. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Moates, G. K., Wellner, N., Waldron, K. W., & Azeredo, H. M. C. (2016). Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 373–379.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.03.074>

Rincón, A. M., Vásquez, A., Padilla, M., & C, F. (2005). composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55(3), 305–310. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222005000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Seidi Damyeh, M., Niakousari, M., & Saharkhiz, M. J. (2016). Ultrasound pretreatment impact on *Prangos ferulacea* Lindl. and *Satureja macrosiphonia* Bornm. essential oil extraction and comparing their physicochemical and biological properties. *Industrial Crops and Products*, 87, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.025>

Shahbandeh, M. (2022). *Orange production worldwide 2022 | Statista*.

<https://www.statista.com/statistics/577398/world-orange-production/#statisticContainer>

Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour, A., & Akram, A. (2007). Some physical properties of orange (var. Tompson). *International Agrophysics*, 21(4), 391–397.

Spigno, G., & De Faveri, D. M. (2009). Microwave-assisted extraction of tea phenols: A phenomenological study. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 210–217.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.006>

Tsouko, E., Maina, S., Ladakis, D., Kookos, I. K., & Koutinas, A. (2020). Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. *Renewable Energy*, *160*, 944–954.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.108>

Wang, Z., Mei, X., Chen, X., Rao, S., Ju, T., Li, J., & Yang, Z. (2023). Extraction and recovery of bioactive soluble phenolic compounds from brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Effect of different extraction methods thereon. *Lwt*, *173*(December 2022), 114337.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114337>

## APÉNDICE

### Apéndice A.

#### **Procedimiento para la determinación de la densidad relativa de la biomasa.**

Según el procedimiento brindado se menciona que básicamente para determinar la densidad relativa de una muestra sólida, en primer lugar, se debe verificar que la muestra haya pasado por un tamiz con aberturas mayores o iguales a 1 mm, consecuentemente se debe colocar la muestra en una probeta graduada de 250 mL y pesar aproximadamente 100 g y compactar el polvo cuidadosamente, considerando que al colocar la muestra tenga un volumen aparente en un rango de 150 – 250 mL, si sobrepasa o está por debajo del mismo no es posible pesar 100 g sino más o menos dependiendo del caso, una vez realizado este proceso se realiza una relación entre masa de la muestra sobre el volumen aparente observado en la probeta para poder determinar la densidad relativa de la biomasa.

#### **Procedimiento para la determinación del poder calorífico de la biomasa**

En primer lugar, se debe verificar que el equipo esté en condiciones adecuadas para operar, consecuentemente se debe pesar el crisol a utilizar y colocar la masa de la muestra sólida, y ubicar el crisol con la muestra dentro del recipiente de combustión, luego inyectar oxígeno a presión constante entre 2 MPa o 3 MPa o 20 atm a 30 atm, si la presión excede la especificada se debe separar la conexión de llenado y desfogar el recipiente de combustión, aquella muestra utilizada debe ser desechada y repetir nuevamente desde el inicio. Con el oxígeno inyectado se coloca el recipiente en el interior de la cubeta, se debe llenar el interior del calorímetro con agua destilada considerando que la temperatura del agua no esté a más de 2 °C por debajo de la temperatura del ambiente. Introducir los datos en el sistema, esto es peso de la muestra, una vez ingresado el valor se inicia la corrida en el ícono *start*, una vez transcurrido el tiempo se anota el

resultado del poder calorífico otorgado por el sistema en unidades de kJ/kg, una vez terminada la prueba se procede a abrir el calorímetro, se desconectan los electrodos, se saca el recipiente del interior del calorímetro.

## Apéndice B

*Resultados de análisis físicos realizados a la biomasa utilizada*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de análisis</b>
Densidad relativa	0.663	g/mL	
Poder calorífico	15 679	J/g	

Nota. Elaboración propia (2023)

## Apéndice C

*Resultados obtenidos de los análisis bromatológicos realizados.*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de análisis</b>
pH (solución al 10%)	4.43	Unidades de pH	PEE.LASA.FQ.03a AOAC 981.12
Acidez (Exp. Ácido cítrico)	0.4	%	PEE.LASA.FQ.16a AOAC 942.15a
Humedad	77.7	%	PEE.LASA.FQ.10a1 AOAC 920.151
Azúcares totales	4.5	%	PEE.LASA.FQ.57 AOAC 977.20
Cenizas	0.9	%	PEE.LASA.FQ.10c GRAVIMÉTRICO
Fibra bruta	7.5	%	PEE.LASA.BR.01 AOAC 962.09

Nitrógeno	0.2	%	PEE.LASA.FQ.11 KJELDAHL
Fósforo	31.18	mg/100g	PEE.LASA.BR.06 ESPECTROFOTOMETRIA

**Nota.** Resultados obtenidos de los análisis realizados por Laboratorio “LASA” (2021)

## Apéndice D

*Resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados.*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de análisis</b>
Aerobios mesófilos	20	UFC/g	PEE.LASA.MB.03 BAM CAP 3
Coliformes totales	< 3	NMP/g	PEE.LASA.MB.01b BAM CAP 4
E. coli	< 10	UFC/g	PEE.LASA.MB.20 AOAC 991.14
Salmonella SPP	Ausencia	AUS/PRES	PEE.LASA.MB.05 BAM CAP. 05

**Nota.** Resultados obtenidos de los análisis realizados por Laboratorio “LASA” (2021)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	BLK	BLK	BLK	SPL4 75	SPL4 75	SPL4 75						
B	BLK	BLK	BLK	SPL4 75	SPL4 75	SPL4 75						
C	SPL1 75	SPL1 75	SPL1 75									
D	SPL1 75	SPL1 75	SPL1 75									
E	SPL2 75	SPL2 75	SPL2 75									
F	SPL2 75	SPL2 75	SPL2 75									
G	SPL3 75	SPL3 75	SPL3 75									
H	SPL3 75	SPL3 75	SPL3 75									

Well ID  
Conc/Dil  
Name  
Well ID  
Conc/Dil  
Name

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0,058	0,06	0,058	0,089	0,094	0,093						
B	0,057	0,057	0,054	0,078	0,073	0,073						
C	0,155	0,155	0,153									
D	0,13	0,132	0,134									
E	0,129	0,129	0,131									
F	0,131	0,132	0,131									
G	0,123	0,128	0,125									
H	0,156	0,15	0,159									

739  
739  
739  
739  
739  
739  
739  
739

**Apéndice E. Lectura de Microplacas previo a prueba de CPT**

				Promedio
Blanco 1	0,058	0,06	0,058	0,0587
Blanco 2	0,057	0,057	0,054	0,0560

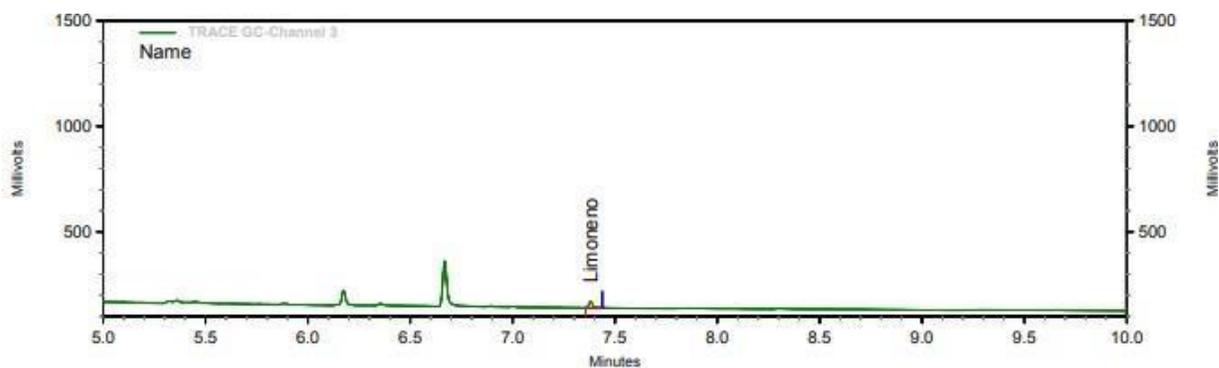
	Microplaca - Submuestreo	
	22/6/2023	22/6/2023
	R1	R2
P11	0,155	0,13
	0,155	0,132
	0,153	0,134
P31	0,129	0,131
	0,129	0,132
	0,131	0,131
P100 A	0,123	0,156
	0,128	0,15
	0,125	0,159
P100 E	0,089	0,078
	0,094	0,073
	0,093	0,073

Tratamiento	Tamaño Partícula	R1	R2	Promedio	Blanco	Abs	[ ] ug Ácd. Gálico/ml	FD	[ ] ug Ácd. Gálico/ml	g Sustrato	ml solvente	[ ] ug Ácd. Gálico/g sustrato	mg Ácd. Gálico/g sustrato
P11	-	0,15433	0,13200	0,14317	0,0587	0,0845	25,03238866	75	1877,42915	5	100	37548,583	37,548583
P31	-	0,12967	0,13133	0,13050	0,0587	0,0718	21,39777328	75	1604,832996	5	100	32096,65992	32,09665992
P100 A	-	0,12533	0,15500	0,14017	0,0587	0,0815	24,1715587	75	1812,866903	5	100	36257,33806	36,25733806
P100 E	-	0,09200	0,07467	0,08333	0,0587	0,0247	7,86361336	75	589,771002	5	100	11795,42004	11,79542004

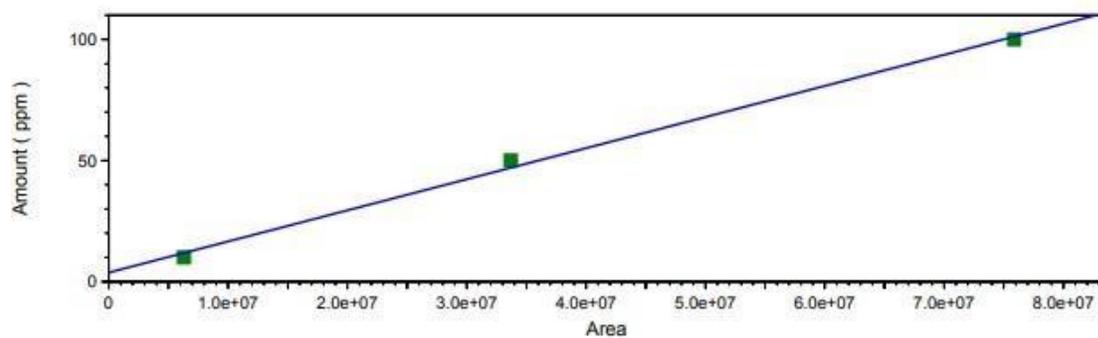
#### Curva Calibración

Pendiente	0,003485009
Intercepto	-0,002738095

**Apéndice F. Matriz Plackett Burman para medición de Contenido total de Polifenoles en términos de Ácido Gálico.**



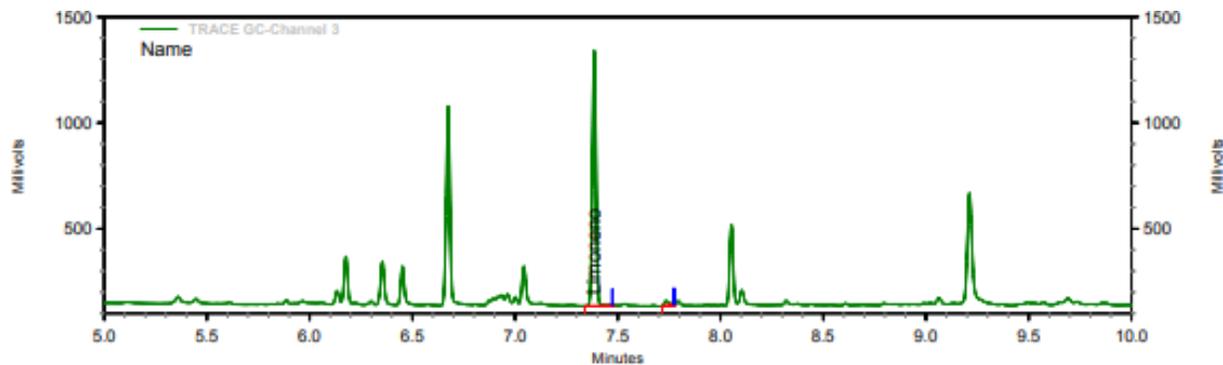
Peak: Limoneno -- ESTD -- TRACE GC-Channel 3



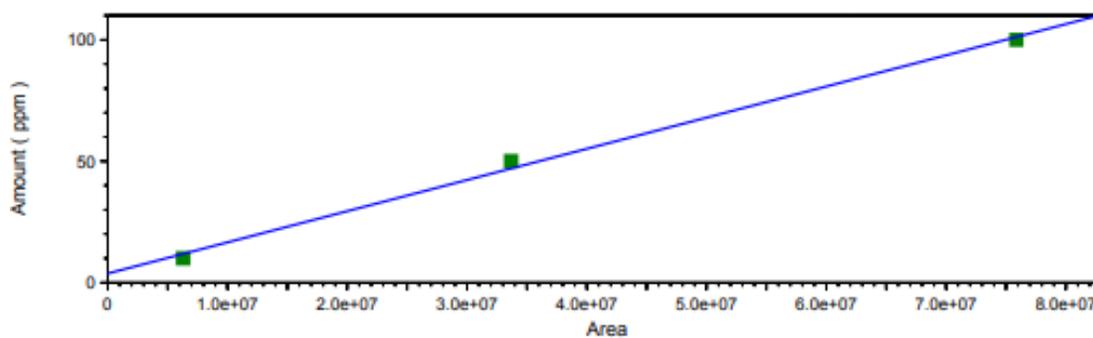
TRACE  
GC-Channel 3  
Results (System  
8/25/2023 9:00:21  
PM) (Reprocessed)

<i>Pk #</i>	<i>Name</i>	<i>Retention Time</i>	<i>Area</i>	ESTD concentration
1	Limoneno	7.382	384384	4.233
Totals			384384	4.233

**Apéndice G. Análisis por HPLC para identificación de D-L Muestra T, LAQUINS.**



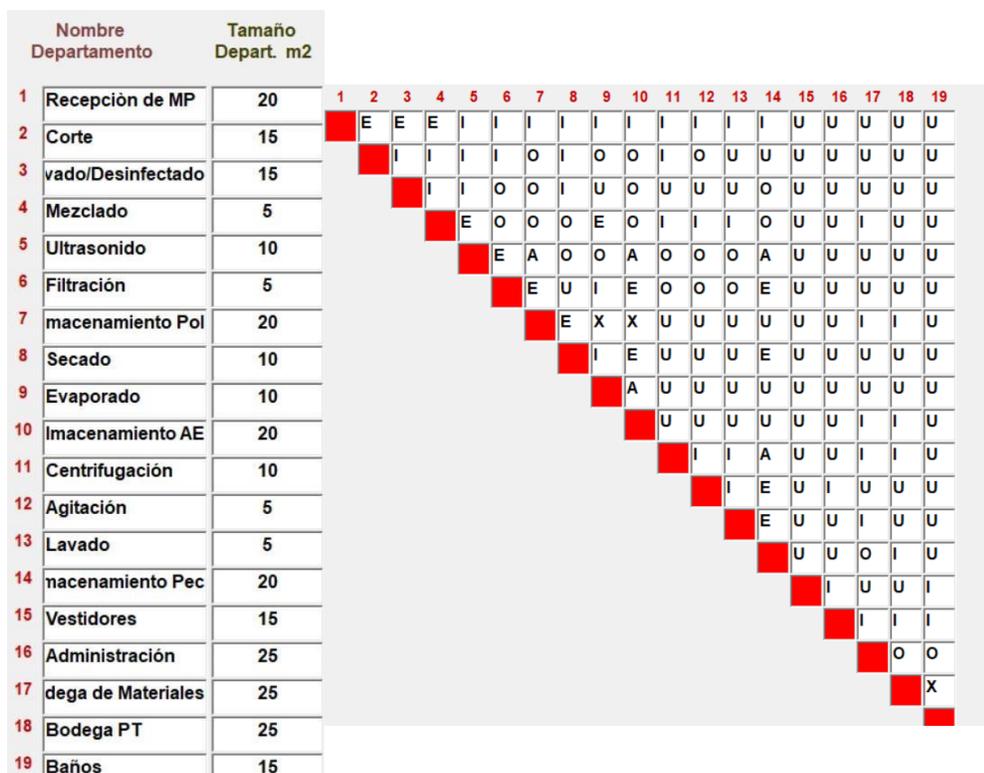
Peak: Limoneno -- ESTD -- TRACE GC-Channel 3



TRACE  
GC-Channel 3  
Results (System  
(8/25/2023 9:02:31  
PM) (Reprocessed))

<i>PK #</i>	<i>Name</i>	<i>Retention Time</i>	<i>Area</i>	<i>ESTD concentration</i>
1	Limoneno	7.385	14943246	22.932
Totals			14943246	22.932

Apéndice H. Análisis por HPLC para identificación de D-L Muestra B, LAQUINS.



Apéndice I. Distribución de espacios con una disponibilidad de 300 m<sup>2</sup> y diagrama de relación de actividades, CoreLap.

Orden	Nombre	TCR	Superficie m2
1.-	Recepción de MP	65	20
2.-	Ultrasonido	65	10
3.-	macenamiento Pec	63	20
4.-	Mezclado	62	5
5.-	Filtración	59	5
6.-	Almacenamiento /	58	20
7.-	Centrifugación	56	10
8.-	Secado	55	10
9.-	Corte	55	15
10.-	Almacenamiento I	53	20
11.-	Agitación	52	5
12.-	Bodega de Materi	51	25
13.-	Lavado/Desinfect	51	15
14.-	Lavado	51	5
15.-	Evaporado	50	10
16.-	Bodega PT	46	25
17.-	Administración	46	25
18.-	Baños	40	15
19.-	Vestidores	40	15



Apéndice J. TCR y Layout, CoreLap.

<b>Equipos</b>	<b>Nº unidades</b>	<b>Precio de unidad (\$)</b>	<b>Precio total (\$)</b>	<b>Vida útil (años)</b>
Equipo de destilación rotaevaporador	5	4200	21000	7
Filtro de tambor de filtración al vacío	1	8000	8000	7
Sonda ultrasónica	1	2300	2300	8
Máquina centrífuga industrial GF105	1	5500	5500	8
Tanque de mezcla líquida 300-5000 L	1	2200	2200	7
Equipo de refrigeración (cuarto frío)	1	2500	2500	5
Secador de bandejas	1	4000	4000	7
<b>Costo total</b>		45500		

### **Apéndice K. Costos de inversión para la producción de los 3 compuestos orgánicos**

<b>Costo</b>	<b>Precio (\$)</b>
Alquiler de terreno 300 m2	3600

### **Apéndice L. Costo fijo anual**

<b>Detalle</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Consumo diario</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Energía eléctrica	0.09	281.25 kWh	5936.29	6056.94	6056.94	6105.21	6177.60
Agua	0.83	2 m3	408.36	416.66	416.66	419.98	424.96
<b>Total (\$)</b>			6344.65	6473.60	6473.60	6525.19	6602.56

### **Apéndice M. Costos de suministros 1**

Reactivos	Cantidad	Unidades	Precio unidad (\$)	Precio total por día (\$)	Año 1 (\$)	Año 2 (\$)	Año 3 (\$)	Año 4 (\$)	Año 5 (\$)
Etanol (99%)	1000	L	2.5	2500	150000	162500	167500	180000	200000
Ácido cítrico grado alimenticio	500	kg	6	3000	180000	195000	201000	216000	240000
Hexano grado alimentario	1000	L	1.5	1500	90000	97500	100500	108000	120000
<b>Costo total por reactivos</b>					420000	455000	469000	504000	560000

#### Apéndice N. Costo de suministros 2

Producto	Rendimiento (%)	Producción diaria (kg)	Precio por kg de producto (\$)	Ventas diarias (\$)
Aceite esencial	33.61	33.61	35.00	1176.35
Polifenoles	37.55	37.36	51.00	1905.47
Pectina	53.56	53.02	12.00	636.29
<b>Total de ventas</b>				3718.12

#### Apéndice O. Ingresos diarios

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas		914656.92	933247.51	933247.51	940683.74	951838.09
Costos variables		426344.65	461473.60	475473.60	510525.19	566602.56
Costos fijos		3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00
Utilidad antes de impuestos		484712.27	468173.90	454173.90	426558.55	381635.53
Impuestos (22%)		106636.70	102998.26	99918.26	93842.88	83959.82
Utilidad neta		378075.57	365175.64	354255.64	332715.67	297675.72
Inversión equipos	45500.00					
Capital de trabajo	815650.34					
Ingresos por activos fijos						
	861150.34	378075.57	365175.64	354255.64	332715.67	297675.72
<b>Flujo de caja acumulado</b>		-483074.77	743251.21	719431.29	686971.32	630391.39

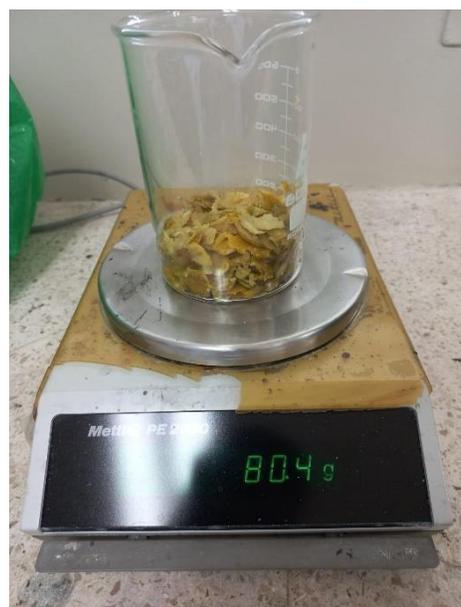
#### Apéndice P. Flujo de caja con una proyección a 5 años

No	Año	Inflación acumulada al último día del año (%)	100% + Inflación anual acumulada (%)
1	2018	-0.22	99.78
2	2019	0.27	100.27
3	2020	-0.34	99.66
4	2021	0.13	100.13
5	2022	3.47	103.47
	<b>f = Inflación media anual</b>		1%
	<b>i = Premio al riesgo/año</b>		20%
	<b>TMAR</b>		20.78%

#### Apéndice Q. Cálculo de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

VAN	\$508,092.76
TMAR	20.78%
TIR	33.24%

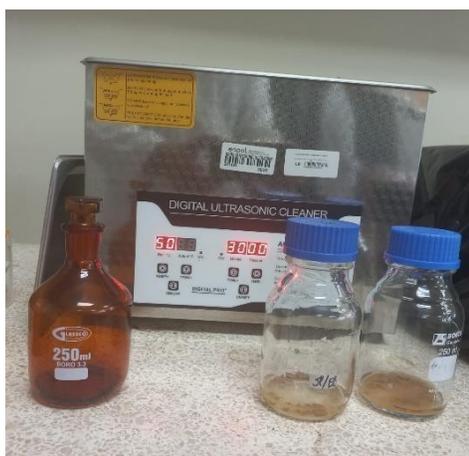
#### Apéndice R. Resultados de los criterios de decisión



#### Apéndice S. Recepción y pesado de la cáscara de naranja



**Apéndice T. Extracción por EAU y obtención de extractos para medición de CPT**



**Apéndice U. Extracción por EAU, obtención de extractos de aceite esencial y estándar D-L para análisis HPLC.**



**Apéndice V. Extracción por EAU y obtención de pectina previo a post tratamiento**