

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Influencia del secado y almacenamiento de la harina de cáscara de naranja en el
rendimiento de la extracción de sus componentes para uso industrial

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Ivana Alexandra Hernández Quiroz

Carlos Rafael Moreno Centeno

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mis padres quienes siempre me ponen por delante de todo, que sin su apoyo no estaría culminando esta etapa de mi vida, este título es de ustedes. A Irving quien llegó a calmar mi vida, adorarme y recordarme que si puedo. A los amigos que hice en el camino que llenaron de gratos recuerdos e hicieron más amena toda esta experiencia.

Ivana Hernández Quiroz

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi querida hija, que tanto anhelo conocer. A mi amadísima prometida y compañera, Anita. A mi madre, su amor y apoyo inmensurable. Y a mi abuelita Mercedes, que tanto esperó para verme graduado. Y a todos quienes me han acompañado y enseñado algo en cada instancia de mi vida, familia y amigos.

Carlos Moreno Centeno

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a todos los maestros que me encontré en el camino, a los amigos que siempre aportaron con valiosas experiencias y enseñanzas, al PhD. Cesar Moreira y al PhD. Joan Vera que estuvieron siempre atentos en cada momento de este trabajo, transmitiendo con vocación sus conocimientos. Y a mis padres, que me tomaron de la mano en cada escalón y me inspiraron a seguir adelante.

Ivana Hernández Quiroz

Agradecimientos

Quiero dar gracias a todos los maestros y los amigos que me acompañaron en esta etapa de mi vida. Al PhD. Cesar Moreira y al PhD. Joan Vera que dieron todo su conocimiento, tiempo y estima en la realización de este proyecto. A nuestra profesora Nadia Flores, por su predisposición y entrega a sus estudiantes.

Carlos Moreno Centeno

Declaración Expresa

Nosotros, Ivana Hernández y Carlos Moreno acordamos y reconocemos que la titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 26 de enero del 2024.

Ivana Hernández

Ivana Hernández



Carlos Moreno

Evaluadores

MSc. Nadia Flores

Profesora de Materia

PhD. Cesar Moreira

Tutor de proyecto

PhD. Joan Vera

Cotutor de proyecto

Resumen

Este trabajo se fundamenta en la evaluación del rendimiento de los diferentes métodos de secado y tiempo de almacenamiento de la harina de la cáscara de naranja para las extracciones de polifenoles, aceite esencial y síntesis de pectina, que tiene como objetivo el plantear un proceso a escala piloto en ASPEN PLUS V.11 y un dimensionamiento adecuado por medio de balances de materia. Debido a que las propiedades de los componentes de las cáscaras de naranja pueden verse afectadas al ser sometidas a altas temperaturas o por tiempos prolongados de almacenamiento, el análisis de rendimientos en las extracciones de diferentes muestras es crucial para este estudio.

Para esto, se emplearon cuatro muestras de harina de cáscara de naranja, obtenidas por secado de bandejas con un tiempo de envejecimiento de uno, seis y 17 meses, además de una muestra obtenida con secado liofilizado con un mes de envejecimiento, a las cuales se les aplicó los mismos tratamientos de extracción. Con los rendimientos obtenidos, la harina obtenida por secado de bandeja con un tiempo de almacenamiento de seis meses reflejó valores adecuados para su uso en una planta industrial.

Para determinar la factibilidad económica del proceso se emplearon los flujos de producción obtenidos por medio de una simulación en ASPEN PLUS, y los precios de inversión con ayuda del software CAPCOST 2017, demostrando con ayuda de las herramientas de análisis económico VAN y TIR que el proceso representa un buen valor económico, y una tasa de recuperación de menos de dos años.

Palabras Clave: Extracción, Secado de Bandeja, Secado Liofilizado, Flujos de Producción.

Abstract

This work is based on the evaluation of the performance of the different drying methods and storage time of orange peel flour for the extraction of polyphenols, essential oil and pectin synthesis, which aims to propose a scale process. pilot in ASPEN PLUS V.11 and adequate sizing through material balances. Because the properties of the components of orange peels can be affected by being subjected to high temperatures or by prolonged storage times, the analysis of yields in the extractions of different samples is crucial for this study.

For this, four samples of orange peel flour were used, obtained by drying trays with an aging time of one, six and 17 months, in addition to a sample obtained by freeze-dried drying with one month of aging, to which the same extraction treatments were applied to them. With the yields obtained, the flour obtained by tray drying with a storage time of six months reflected adequate values for use in an industrial plant.

To determine the economic feasibility of the process, the production flows obtained through a simulation in ASPEN PLUS were used, and the investment prices with the help of the CAPCOST 2017 software, demonstrating with the help of the VAN and TIR economic analysis tools that the process it represents a good economic value, and a recovery rate of less than two years.

Keywords: Extraction, Tray Drying, Freeze Drying, Production Flows.

Índice

Evaluadores	I
Resumen	II
Abstract	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema.....	4
1.3 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 Naranja: Propiedades	5
1.5.2 Caracterización de la cáscara de la naranja.....	6
1.5.3 Métodos de secado	7
1.5.4 Métodos de Almacenaje.....	8
1.5.5 Métodos de extracción	8
Capítulo 2	10
2.1 Metodología	11
2.1.1 Diseño Experimental.....	11
2.1.2 Preparación preliminar de la biomasa	11
2.1.3 Tiempo y condiciones de almacenaje	12
2.1.4 Secado	12
2.1.5 Molienda y Tamizado	13
2.1.6 Reactivos y Equipos.....	14

2.1.7	Extracción de componentes bioactivos	15
2.1.8	Planteamiento de planta	17
2.1.9	Diseño de línea de proceso.....	18
2.1.11	Viabilidad de costos	19
Capítulo 3	21
3.1	Resultados y análisis	22
3.1.1	Pretratamientos	22
3.1.2	Extracción de Polifenoles	23
3.1.3	Extracción de aceite esencial	26
3.1.4	Síntesis de pectina.....	28
3.1.5	Diagrama de bloques del proceso	31
3.1.6	Simulación	31
3.1.6	Análisis de Costos.....	34
Capítulo 4	36
4.1	Conclusiones y recomendaciones	37
4.1.1	Conclusiones.....	37
4.1.2	Recomendaciones	38
Referencias	40
Apéndice	46

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

CPT Contenido de Polifenoles Totales

AG Acido Gálico

AE Aceite Esencial

GC Cromatografía de gases

EUA Extracción asistida por Ultrasonido

TMAR Tasa mínima aceptable de rendimiento

VAN Valor Actual Neto

TIR Tasa Interna de Retorno

Simbología

gr	Gramo
Ton	Tonelada
kHz	Kilohercio
°C	Grados Celsius
kW	Kilovatios
ppm	Partes por millón

Índice de figuras

Figura 3.1.....	22
Figura 3.2.....	25
Figura 3.3.....	25
Figura 3.4.....	27
Figura 3.5.....	28
Figura 3.6.....	29
Figura 3.7.....	30
Figura 3.8.....	31
Figura 3.9.....	32

Índice de tablas

Tabla 2.1	11
Tabla 3.1	23
Tabla 3.4	24
Tabla 3.5	27
Tabla 3.6	29
Tabla 3.7	32
Tabla 3.8	33
Tabla 3.9	34

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Este Trabajo busca brindar alternativas que maximicen el rendimiento de un proceso de aprovechamiento de los desechos de la naranja, considerando cómo se puede dificultar la obtención de esta, ya que la naranja es una fruta de temporada. Así mismo, los diferentes mecanismos de secado para la obtención de su harina que puedan aportar al rendimiento de la extracción de sus productos. También se planteará el diseño de un proceso industrial a escala piloto, donde se extraerán los componentes bioactivos de interés.

Por medio del análisis del rendimiento de los componentes que se pueden obtener de la harina de la cáscara de naranja, los cuales se extraen por diferentes tratamientos experimentales que llevan a la obtención de polifenoles, aceite esencial y pectina, se busca indicar el tipo de muestra que potenciará la eficiencia del proceso, las cuales variarán en tanto su tiempo de envejecimiento y tipos de secado de cáscara de naranja las cuales son secado de bandejas y secado liofilizado.

Para un estudio global adecuado en tanto al proceso y su rentabilidad, los balances de masa juegan un papel importante con el fin de determinar la cantidad de materia prima base con la que se deberá trabajar, además esto puede llegar a influir en la variación de costos que esta incluye, como lo puede ser su transporte y energía necesaria para la eliminación de humedad.

El interés de este proyecto yace en la iniciativa de potenciar un proceso industrial, con gran aporte económico debido a los tres componentes bioactivos que se buscan extraer. Promoviendo un tratamiento permanente para los desechos de la naranja que impulsará el desarrollo industrial del Ecuador, haciendo así que la importación de esta materia prima para su transformación y comercialización sea eliminada.

1.2 Descripción del problema

En Ecuador, las empresas de alimentos no están utilizando de manera eficiente los residuos producidos durante el procesamiento de frutas, lo que resulta en una significativa contribución a la contaminación ambiental, ya que desperdician en gran parte las hojas, semillas, cáscaras y restos de pulpa (Aguiar et al., 2022), lo cual influye de manera negativa en la vida de las personas.

Posicionar en la industria un proceso que lidie con este tipo de desechos es crucial para potenciar la industrialización del país, considerando que alrededor de 8.7 toneladas de aceite esencial y 44.4 toneladas de pectina se pierden anualmente (Ángel Siles López et al., 2010). El precio de la pectina va de \$20-\$34 el kilogramo siendo en su mayoría importada de países como México, Argentina y China (Almeida et al., 2019). En tanto al aceite esencial, sus precios oscilan de \$5 - \$10 por cinco mililitros (Silva, n.d.). Mientras que los polifenoles por sus múltiples aplicaciones en la industria farmacéutica alimenticia y cosmética tienen un precio de \$45/kg considerado así por Beltran & Piguabe (2023) representando un alto valor económico.

La harina de cáscara de naranja puede ser deshidratada de diferentes maneras, lo cual dependerá de las prioridades de quien la obtiene, ya que el d-limoneno el cual es el mayor componente del aceite esencial siendo el que brinda el característico olor a naranja, cuenta con una presión de vapor de 200 pascales (Espinosa Díaz et al., 1999), contribuyendo a la pérdida de este componente si se ejerce un secado por convección. Mientras que existen alternativas de secado que conservan de mejor manera sus componentes bioactivos como lo es el secador Liofilizado.

Para ESPOL el poder contemplar este proceso a mediana escala es importante ya que contribuye a sus objetivos de sostenibilidad, además de que no hay pioneros en el país que impulsen una iniciativa de correcto tratamiento de desechos con el fin de disminuir su impacto en el medio ambiente.

1.3 Justificación del problema

ESPOL siempre busca estar a la vanguardia del desarrollo de procesos donde se aprovechen correctamente los desechos agroindustriales, que a su vez beneficien a la economía circular. Por lo cual, aumentar el rendimiento del proceso de extracción de los componentes bioactivos de la harina de la cáscara de naranja, es de suma importancia para cumplir sus metas de sostenibilidad, contribuyendo a la sociedad.

La cáscara de naranja es un objetivo ideal debido a los componentes derivables que se pueden obtener a través de ella, no obstante, no existen investigaciones que indiquen la influencia del tiempo de almacenamiento de su harina y tipo de secado en tanto al rendimiento que pueda ser obtenido.

El tiempo de almacenamiento de la harina de cáscara de naranja es considerado, debido a que la naranja es una fruta de temporada y sus precios podrían variar, lo cual repercute en la disminución de sus desechos y en consecuencia a la extracción de sus componentes bioactivos. Así mismo, el método empleado para retirar la humedad de la cáscara para posterior tratamiento es crucial para la conservación de sus componentes bioactivos debido a sus propiedades.

Para dimensionar el proceso que se trata en este proyecto de investigación, los factores mencionados, como lo son el tiempo de almacenamiento y tipo de secado resultan relevantes, adicionalmente, los balances de materia son importantes para el diseño de una planta piloto ya que ayudan a contabilizar los flujos de materia prima, lo cual influirá en la toma de decisión con respecto al dimensionamiento de equipos para cumplir con un proceso que sea autosostenible y contribuya a la economía circular.

1.3 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tipo de secado de la cáscara de naranja y del tiempo de almacenaje de su harina, comparando el rendimiento de la extracción de los componentes bioactivos para el planteamiento de un proceso a escala de planta piloto.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a la harina de naranja para la extracción de sus componentes bioactivos mediante un análisis estadístico al azar.
- Diseñar un modelo matemático para balances de materia partiendo de la materia prima en base al rendimiento de los procesos de extracción.
- Analizar la factibilidad de implementación del proceso utilizando los mejores resultados obtenidos en las experimentaciones a escala laboratorio mediante la simulación del proceso en ASPEN PLUS.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Naranja: Propiedades

La naranja del tipo *citrus sinensis* trata de una fruta de carácter dulce, que cuenta como materia prima orgánica de gran valor tanto nutricional como para la obtención de productos químicos. De sus propiedades fisicoquímicas, se comprenden grandes beneficios de su consumo y, por ende, de su producción en masa en todo el globo. Se comprenden los Estados Unidos, Brasil, Colombia, y en el plano local, la producción en el Ecuador. Se comprende una producción de cítricos sobre 124 millones de toneladas por año, donde el setenta por ciento conforma la naranja dulce. Sus beneficios alimentarios describen elementos de suma importancia

como fibra, antioxidantes, vitaminas, terpenoides, flavonoides, entre otros (Brezo-Borjan et al., 2023).

En el plano agroindustrial, la naranja es el cítrico de mayor producción, donde ya existe un aprovechamiento de sus aceites en el ámbito cosmético y farmacéutico para la utilización de sus aceites esenciales. Además de estos usos, en Ecuador hay déficit de aprovechamiento de ello, contando con una gran producción anual (Segovia Montalván et al., 2022).

1.5.2 Caracterización de la cáscara de la naranja

La cáscara de naranja es una fuente rica en componentes bioactivos naturales, como aceites esenciales, polifenoles, fibras, minerales, pectina y monosacáridos. Los aceites esenciales representan del 0,4 al 0,5% de la cáscara y contienen diferentes tipos de terpenos, siendo el limoneno el componente principal (90-95%), junto con compuestos oxigenados, como alcoholes, aldehídos y ésteres (Wang et al., 2023).

Los compuestos polifenólicos, que son buenos antioxidantes y agentes antiinflamatorios, suelen estar presentes en la cáscara de naranja en cantidades que van de 8 a 32 g de equivalente de ácido gálico (GAE) por kg, principalmente en forma de ácidos fenólicos (de la familia del ácido cinámico, generalmente unidos a componentes de carbohidratos), flavonoides y sus derivados. Además, las cáscaras de cítricos son ricas en azúcares, ya sea como monosacáridos y disacáridos libres (glucosa, fructosa y sacarosa en una proporción de 35-36%) o polimerizados en celulosa (glucosa), hemicelulosa (galactosa, arabinosa y xilosa) y pectina (ramnosa). La pectina es un heteropolisacárido de 80-400 kDa con un alto contenido de ácido galacturónico. Es un subproducto valioso de las cáscaras de cítricos que tiene un alto valor nutraceútico y se utiliza en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética como agente gelificante y espesante, y como estabilizador. Además, la cáscara de naranja contiene una variedad de compuestos bioactivos. Estos incluyen flavonoides, carotenoides, antioxidantes y otros fitoquímicos (Louie et al., 2020). Los flavonoides, como la hesperidina y la narirutina, han demostrado tener

propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que amplía el interés en la extracción de estos compuestos para aplicaciones en la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética. lo que alinea la investigación con los objetivos de economía circular y sostenibilidad ambiental. ((Aguiar et al., 2022b).

1.5.3 Métodos de secado

Se comprenden, en el estudio del secado específico de la cáscara de naranja, diversos tipos de secado. En estudios pasados se analizaron extracciones por liofilización, secado por calor, secado infrarrojo y secado por microondas. Estos secados se han establecido como una norma general en el tratado de cáscaras de frutas cítricas ((Wang et al., 2023). El secado de materias orgánicas es de suma importancia puesto que contribuyen a una mejor preservación de los compuestos bioactivos. A su vez, esto reduce los problemas ambientales y permite una mayor extensión de vida útil, disminuyendo la posibilidad de putrefacción (Bozkir et al., 2021).

1.5.3.1 Secado por Bandejas

El secado en bandejas constituye en el uso de aire caliente a una cierta baja humedad para retirar agua del sólido húmedo. Este tipo de secado tiene variadas aplicaciones en la industria y la farmacéutica. El secado de bandejas de la piel de la naranja ha tenido ya algunos estudios, Beltrán & Piguave (2023), realizan un procedimiento de secado de bandejas a temperatura constante de 50°C por un tiempo de 12 horas. Otros estudios, de análisis de la cinética de secado de la cáscara de esta fruta mencionan que para el secado por aire caliente, la temperatura de secado de 50°C, con una humedad del aire caliente del 30%. Esto dado a que temperaturas mayores ya tienen una incidencia en los compuestos termosensibles de la naranja (Bozkir et al., 2021). De realizarse secados a una mayor temperatura podrían obtenerse reacciones de Maillard u otras degradaciones de los aceites esenciales o polifenoles.

1.5.3.2 Liofilización

El método de liofilización o secado en frío que trata del congelamiento del sólido a secar. A temperaturas menores a 20°C se promueve la sublimación, extraer el agua. Se tienen estudios realizados para la cáscara de naranja. Wang et al. (2023a) menciona que este proceso tiene gran capacidad de extracción de agua de los sólidos, además de conservar muy bien las propiedades de los compuestos como el limoneno, polifenoles y demás compuestos termolábiles.

1.5.4 Métodos de Almacenaje

El almacenaje de materias primas orgánicas también es un tema de análisis donde se busca el equilibrio de consumo, costos y del deterioro de los compuestos con el paso del tiempo. La preservación históricamente se ha realizado por deshidratación, salmueras y almibares. Las materias orgánicas deshidratadas deben de ser almacenadas en lugares secos. donde las condiciones de luz sean mínimas y no haya exposición a radiación solar que pueda conllevar a reacciones que cambien las características fisicoquímicas del compuesto. Algunos de estos almacenajes pueden requerir de condiciones específicas de presión, sellados al vacío y temperatura para óptimas condiciones (Frempong et al., 2022).

1.5.5 Métodos de extracción

La extracción de componentes bioactivos de materias primas orgánicas sugiere una gran vertiente de estudio actual. Para el caso concreto de esta fruta, la agroindustria sugiere el uso de solventes y se investiga con mayor profundidad efectos como el agua subcrítica (Brezo-Borjan et al., 2023), técnica que termina siendo más eco amigable y seguro.

Además de la ultrasonificación y la hidrólisis ácida, existen otras técnicas emergentes para la extracción de compuestos bioactivos de la cáscara de naranja. La extracción con fluidos supercríticos, como el dióxido de carbono supercrítico, ha ganado interés por su eficacia para obtener extractos de alta pureza y libre de solventes

1.5.5.1 Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es un método de extracción de compuestos amigable con el medio ambiente y de muchas aplicaciones. Para la extracción de compuestos orgánicos resulta ser un proceso ágil para trabajar con sólidos y solventes específicos de cada compuesto bioactivo. Este proceso se ha ido integrando a la industria química por su capacidad de obtención de polifenoles, aceites esenciales, limonoides, compuestos fenólicos, entre otros. Existen varios factores que deben ser definidos para cada extracción en particular. Desde las temperaturas de operación, el tiempo mínimo de uso y de los solventes y su afinidad para la obtención del compuesto en específico (Louie et al., 2020).

El concepto de este método se basa en la capacidad del solvente, en conjunto con la ultrasonificación, en romper las células para penetrar los tejidos vegetales. Por medio de los fenómenos de calor y de transferencia de masa y del efecto capilar. Estos compuestos de interés luego quedan disueltos en el solvente usado y separado del sólido inicial. Este proceso requiere de energía para incitar el movimiento ultrasónico, factor que debe ser comprendido en grandes extracciones (Hosseini et al., 2019).

1.5.5.2 Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es un método de ruptura de moléculas en compuestos más simples. Esta se consigue con el uso de un ácido. La hidrólisis ácida es un proceso químico que utiliza un ácido prótico para catalizar la ruptura de enlaces químicos. En el caso de la extracción de pectinas de la cáscara de naranja, el ácido cítrico es una buena opción porque es un ácido débil que no degrada la pectina en exceso. El proceso de extracción se puede dividir en cuatro pasos: preparación de la materia prima, adición del ácido cítrico, filtración y secado (Quilez-Molina et al., 2023). Para este caso se comprenden condiciones de temperatura de 90°C, alrededor de 160 minutos de extracción asistida por ultrasonido (Beltrán & Piguabe, 2023).

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

2.1.1 Diseño Experimental

En base a las condiciones experimentales aplicadas a este proyecto, se siguió un diseño experimental completamente al azar. Este análisis estadístico se ajusta a las necesidades de este trabajo. Donde se consideraron muestras envejecidas y frescas obtenidas por secado de bandejas y una muestra fresca de secado liofilizado. De las cuales se realizó la extracción de polifenoles y d-limoneno como también la síntesis de pectina, definiéndolas como muestras independientes de una misma población. Contando con cuatro muestras comparándolas por dos métodos de obtención para la implementación de tres tratamientos diferentes.

Tabla 2.1

Definición y nomenclatura de muestras de estudio

Nomenclatura	Muestra
CN-L	Liofilizada fresca
CN-F	Bandeja Fresca
	Bandeja envejecida 17
CN-E17	meses
CN-E6	Bandeja envejecida 6 meses

Nota. Nomenclatura establecida en base tipo de secado y tiempo de envejecimiento.

2.1.2 Preparación preliminar de la biomasa

Las harinas de cáscaras de naranjas estudiadas en este proceso fueron adquiridas de un supermercado local, en Los Ceibos, de la ciudad de Guayaquil. La preparación de la biomasa constó, en primera instancia, del lavado de las cáscaras con agua potable, luego se extrajeron las semillas y la pulpa adherida a las cáscaras. Una vez retiradas, se produjo una desinfección de las pieles de la naranja con una solución de Citrosan al 0.25%. Este desinfectante es de origen natural y está avalado en su uso directo en comestibles, siendo seguro para consumo humano (David et al., 2022).

Se dejaron secar las cáscaras al ambiente durante diez minutos, a modo de una remoción natural de humedad. Para luego ser cortadas en pequeños rectángulos de entre 10 y 15 mm. De este tamaño, se pueden ingresar en los diferentes medios de secado, optimizando el tiempo de residencia y la humedad final de las cáscaras (Wang et al., 2023).

Los siguientes pasos consistieron en la molienda y tamizado de los trozos de cáscara de la fruta a un tamaño reducido y uniforme. Con el propósito de aumentar las superficies de contacto con los solventes para las extracciones, además de reducir el espacio requerido para almacenaje.

2.1.3 Tiempo y condiciones de almacenamiento

Los tipos de harina utilizados que fueron definidas como harina fresca con un tiempo de elaboración menor a un mes. En el cual se realizó el proceso de extracción de pulpa, secados, molienda y tamizado. También se emplearon harinas envejecidas con 6 meses y de 17 meses de elaboración.

Las harinas con tiempo de almacenamiento superior a un mes fueron elaboradas previamente a la experimentación. Estas harinas fueron secadas por medio calor de convección en secadores de bandejas. El almacenamiento se realizó de manera que las muestras se encontraban ocultas de luz solar y sin exposición a humedad (Obafaye & Omoba, 2018). Dada la fotosensibilidad de varios de los compuestos de interés en la harina y de los daños que puede producir un aumento en la humedad de las muestras como la putrefacción (Larrosa & Otero, 2021).

2.1.4 Secado

Para los métodos de secado, se contempló la aplicación de secado con calor y frío para comprender el efecto de estos en el rendimiento de los compuestos bioactivos y su

escalabilidad a un proceso piloto. Como secado de calor se decidió por secado en bandejas y como frío a la liofilización.

2.1.4.1. *Secado en Bandeja*

El secado en bandejas se produjo en la planta piloto de la carrera de ingeniería en Alimentos de la ESPOL. Este equipo se utilizó con una temperatura de 50 °C para la preservación de componentes bioactivos por un lapso de 12 horas (Bozkir et al., 2021). Se utilizaron bandejas perforadas en conjunto con mallas de polietileno para maximizar el área de contacto. Se establecieron masas de control de un kilogramo para el estudio de humedad removida. Ubicándolas en diferentes puntos del secador, para corroborar que el secado se produce homogéneamente (Wang et al., 2023a).

2.1.4.2. *Secado Liofilizado*

El secado por liofilización se llevó a cabo en un liofilizador desarrollado por la Facultad de ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESPOL. Este equipo cuenta con una capacidad de, aproximadamente, un kilogramo de cáscara hidratada. Donde fueron colocadas las cáscaras en varias estanterías del equipo. Para este proceso se mantuvo una línea de refrigeración de las cáscaras de naranja cercanas a la temperatura de operación. Las condiciones de operación del equipo fueron de -20 °C en un tiempo de operación de 24 horas.

2.1.5 Molienda y Tamizado

Para obtener un tamaño de partícula que favorezca la eficiencia de las extracciones, se procedió a moler y tamizar los trozos de cáscara de la naranja seca. Mira et al. (1999) mencionan que, dentro de las condiciones de extracción de aceite esencial, el tamaño de partícula menores a 2 mm promueve una extracción rápida. Sin embargo, mencionan que con un micraje menor a 0.3 mm permite una extracción de aproximadamente el 75% del total de aceite contenido en las cáscaras de naranja. Conforme a la literatura acerca de la

extracción de pectinas, se comprende un tamaño de partícula mayor a 800 μm (Utekar et al., 2021).

En referencia a estudios enfocados al rendimiento de extracción de biocomponentes de la cáscara de la naranja, se considera un tamaño de entre 300 μm y 75 μm (Patience et al., 2021). Por lo cual se estableció un tamaño de partícula reducido de entre 212 μm y 100 μm . Optimizó el rendimiento de extracción por EAU, pero, a su vez, permitió la separación de los compuestos sólidos de los solventes con los compuestos de interés. Separación elaborada por técnicas como filtración y centrifugación (Mello et al., 2021).

2.1.6 Reactivos y Equipos

El Proceso de extracción cuenta con el aislamiento y caracterización de tres biomoléculas de la cáscara de naranja. Todas las extracciones contaron con asistencia por ultrasonido. El equipo de ultrasonido utilizado es de marca ARGO LAB, modelo DU-100, de un potencial de 200W y 20kHz. Este método presentó gran efectividad en la ruptura de las moléculas complejas de la biomasa para la debida remoción por solvente (Beltrán & Piguave, 2023).

La filtración se realizó con una bomba de vacío marca CENCO con potencia de 4000 rpm. En conjunto con un sistema de filtración con papel filtro cuantitativo número 42 con una porosidad de 2-3 μm . Además de una centrífuga marca Internacio, con capacidad de velocidad de 4000 rpm, sistema de refrigeración y temporalización ajustables.

La roto evaporación se produjo con un equipo marca FISC GROUP, del modelo R-300, que se compone de balón de recolección en conjunto con un sistema de refrigeración mantenido a 4°C. Con un baño María a 40°C del balón con la solución a evaporar. Además de una reducción de la presión por medio de una bomba de vacío.

Los solventes empleados en estos procesos fueron n-hexano de nivel reactivo 95% de marca MERCK, etanol absoluto del 99% marca Fisher Chemical y ácido cítrico marca

Fischer Scientific al 99%. Para los ajustes de pH se usaron ácido sulfúrico e hidróxido de sodio.

2.1.7 Extracción de componentes bioactivos

Continuando con el orden de extracción descrito por Beltrán & Piguave (2023), se inició con la extracción de polifenoles, seguido por la obtención de aceite esencial y finalizando con la síntesis de pectinas. Considerando las condiciones de cada extracción y cuan destructivo cada método pueda ser para las otras moléculas constitutivas de la piel de la naranja (Muñoz Briones et al., 2021). Sean estas, las temperaturas de cada proceso, la naturaleza de los solventes y las sensibilidades de cada compuesto de interés.

2.1.7.1. Extracción de polifenoles

El tratamiento inicia con la extracción de polifenoles; varios autores describen la termo sensibilidad de muchos de los fenoles encontrados en la cáscara de naranja (Bozkir et al., 2021), por lo que su exposición a altas temperaturas debe ser realizado posterior a esta extracción. Este proceso conllevó el uso de una solución de alcohol etílico y agua como solvente. Con una relación de 1:20 en gramos de biomasa por de solución. Siendo la composición de esta solución de 50% alcohol etílico al 99% y de 50% de agua destilada. Se llevó a EAU en un baño de agua destilada. En condiciones de 28°C de temperatura, en un lapso de 30 minutos con el baño ultrasónico de 200W y una potencia de 20 kHz.

Una vez terminado el baño, se procedió a centrifugar la muestra con el solvente. La centrifugación se hizo a 3000 rpm, a 4°C y con una duración de 20 minutos. El solvente conjunto a los polifenoles se almacenó en frascos ámbar y en refrigeración a 4°C.

Para el estudio analítico de la concentración de polifenoles totales (CPT), se determinó con técnica de espectrofotometría por microplaca. Se aplicó la curva de calibración de ácido gálico (AG) en unidades de micro AG por mililitro de solución: $Y = 0.003084086x - 0.00842954$.

2.1.7.2. *Extracción de aceite esencial de naranja*

Las extracciones de cada muestra de harina de naranja se realizaron en conjunto, siguiendo los mismos pasos para contraste de resultados. La obtención de este compuesto inició con el uso del solvente n-hexano, siguiendo el procedimiento descrito por Beltrán & Piguave (2023). Donde detallan una relación 1:15 en referencia a los gramos de biomasa usada y el volumen de solvente necesario.

Luego se utilizó el equipo de ultrasonido para la extracción del aceite esencial en condiciones de 50°C por 30 minutos. Además de una potencia ultrasónica de 80W, un ciclo de trabajo del 50%, con una 25kHz de frecuencia. Cabe destacar que el uso de EAU mejoró los tiempos de residencia de la biomasa en la extracción en comparación con otros métodos más convencionales (Hosseini et al., 2019). Después se utilizó un equipo de filtrado al vacío con el uso del papel filtro cuantitativo de 2-3 micras. El hexano y d-limoneno fueron etiquetados y almacenados en frascos color ámbar.

Por medio del uso de roto evaporador separó y recuperó el solvente n-hexano. A una temperatura de 40°C para aislar el aceite esencial. Para su caracterización se va a analizar el contenido de d-limoneno con ayuda de cromatografía de líquidos (Mesquita & Monteiro, 2018).

2.1.7.3. *Síntesis de pectina*

La síntesis de pectina constituye el proceso más destructivo de la biomasa. Este se obtuvo por medio de hidrólisis ácida, con una solución de ácido cítrico de concentración 0.15 molar para la obtención de ácido galacturónico (Quilez-Molina et al., 2023). La proporción de solución ácida y biomasa fue de 1:25. Finalmente se debe corroborar el pH de la solución de 2, de no cumplirlo se puede ajustar el pH por el uso de ácido sulfúrico o hidróxido de sodio. Nuevamente se realizó un baño ultrasónico con las condiciones de 90°C

por 160 minutos con la potencia fija del baño a 200W y 42 kHz. Acorde a lo propuesto por (Tsouko et al., 2020).

Para la separación de la biomasa, se empleó el equipo de centrifugado. En condiciones de 3000 rpm a una temperatura de 10°C por un lapso de 30 minutos. Luego se utilizó un agitador vortex por 30 minutos para proceder a precipitar durante dos horas a 4°C. Se observó que una vez recolectada la pectina que se precipitó, el uso de etanol para la extracción del solvente permitió una mejor separación del ácido galacturónico. Puesto que las pectinas no son solubles en el mismo. Así se llevó nuevamente a centrifugación a las mismas condiciones, obteniendo así dos fases. Una con una solución líquida de etanol, agua y otra gelificada de pectina. Finalmente se dejó secar las muestras de pectinas correspondientes a cada tipo de harina por 24 horas, a temperatura ambiente de 28°C. Los pesos fueron registrados.

2.1.8 Planteamiento de planta

Para la validación del escalado de una planta industrial, este se fundamenta en la combinación de diversas herramientas y enfoques. Cada uno de los cuales aporta una perspectiva única para garantizar el éxito en la transición a una escala mayor. Inicialmente, el uso de un software de simulación de procesos se revela como un componente esencial, permitiendo modelar y analizar en detalle el comportamiento del sistema a una mayor escala. Según Rossetti & Compagnoni (2016), esta estrategia ofrece una visión de las posibles variaciones y desafíos que podrían surgir durante el proceso de escalado.

Siguiendo este enfoque, la ejecución de pruebas piloto a una escala intermedia, como destacan Piccinno et al. (2016), se posiciona como una fase crucial. Estas pruebas no solo permiten identificar posibles inconvenientes, sino que también facilitan la corrección y optimización del proceso antes de su implementación completa. El análisis estadístico de los datos obtenidos de estas pruebas a menor escala. Se convierte en un pilar fundamental para

comprender la variabilidad inherente al proceso, contribuyendo a la toma de decisiones informada (Mädler et al., 2023).

2.1.9 Diseño de la línea de proceso

Se siguió una línea de proceso del sistema a nivel de laboratorio, en base a la planteada por Beltrán y Piguave (2023), para su escalado a planta piloto. Se plantearon todos los procesos siguiendo una consideración de tiempos de residencia, prioridades de extracción y de condiciones de operación. Siendo polaridades de los solventes, las temperaturas de operación por extracción y sensibilidad de cada uno de los compuestos de interés del proyecto.

Así, luego de los pretratamientos requeridos, se iniciaron las extracciones por la obtención de polifenoles, para seguir con los aceites esenciales y finalizando con la extracción de pectinas. Este orden de extracción permitió la conservación de los polifenoles, debido a que muchas moléculas de este grupo son de gran sensibilidad térmica y bajos puntos de presión de vapor. Las pectinas, por otra parte, son el producto de menor deterioro frente a las anteriores moléculas de estudio. Requiriendo condiciones de operación destructivas para las anteriores (El-Nawawi & Shehata, 1987).

2.1.9.1. Balance de materia del proceso

Como parte de la experimentación, se buscó comprender la influencia de cada proceso experimental a escala de laboratorio. Teniendo en cuenta el desarrollo desde la recepción de las cascaras de naranja con residuos de pulpa y semillas. De modo que se pesó la materia prima en todo el proceso con el propósito de conocer los rendimientos por operación, séanse estas operaciones mecánicas y unitarias. Para dicho balance de masa, se requirió del pesaje en cada instancia y de los estudios de humedad de las biomásas tratadas y de los residuos presentados. Los procesos de molienda, tamizado, secado y extracciones.

Además del orden de comprender bien el diseño de la planta piloto y de la proyección de gastos.

2.1.10 Simulación del proceso

El modelo de proceso aplicado fue plasmado en una simulación del software ASPEN PLUS 11.1. Para su correcto funcionamiento, la selección del modelo termodinámico fue de suma importancia, ya que predice el comportamiento de las propiedades físicas de las mezclas empleadas en función de presión y temperatura. Para la selección de método termodinámico se emplea el modelo de Eric C. Carlson (1996), donde el árbol de decisión indica que el modelo termodinámico que mejor se adecua es el de NRTL.

En un principio, se considera la caracterización de la topología del proceso, lo cual implica la definición de las operaciones unitarias y las corrientes de proceso que circulan entre ellas. A continuación, se detallan los componentes químicos del proceso, incluyendo las propiedades de aquellos que no estaban disponibles en la base de datos. Para llevar a cabo este paso, se empleó la opción "user defined" proporcionada por el simulador. Se consideraron componentes como el d-limoneno, hemicelulosa, celulosa, ácido gálico, ácido galacturónico, hexano, etanol, ácido cítrico y agua. Para la línea de proceso se trabajará con una base de 1000 kg de materia prima por día, lo cual será detallado en los flujos de la corriente perteneciente a la alimentación, acompañados de sus condiciones de operación y flujos de reactivos necesarios para las extracciones. (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2009).

2.1.11 Viabilidad de costos

El análisis de costos se generó con ayuda del software CAPCOST 2017. Este integró el costo de los equipos necesarios para la planta, a su vez, el costo de productos y complementos necesarios. Posteriormente se obtuvieron los valores de TMAR, VAN y TIR que ayudaron a concluir la factibilidad del proyecto. También una proyección de flujo de

caja en función de los años para apreciar la viabilidad del proceso. Presentando así una cotización de la inversión necesaria para la implementar la planta y cuánto tardará está en generar ganancias.

2.1.12 *Análisis estadístico*

Obtenidos los valores rendimiento con respecto los diferentes tratamientos de las muestras, se procedió a realizar el análisis estadístico con ayuda del Software STATGRAPHICS 19. Con un análisis completamente aleatorio con prueba de Fisher LSD para emplear la herramienta estadística ANOVA y visualizar las diferencias significativas de los métodos aplicados a cada muestra.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados y análisis

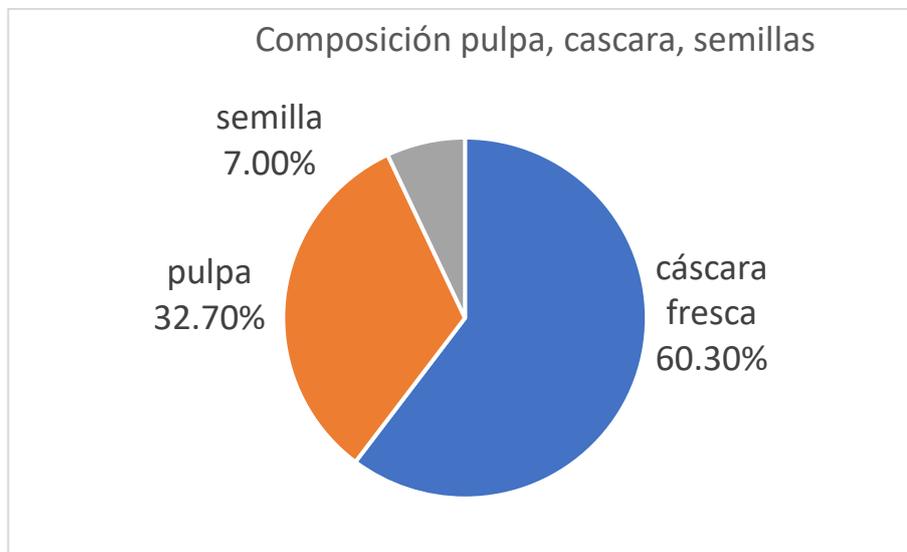
Del estudio de las diferentes harinas de cáscara de naranja, se registran los rendimientos de las diferentes operaciones unitarias. Además de un análisis referenciado de los resultados para su escalamiento y determinación de costos.

3.1.1 Pretratamientos

3.1.1.2 Extracción de pulpa y semillas

Esta fue la primera operación unitaria luego de la recepción de la materia prima. El proceso puede realizarse de manera manual o mecánica. A escala de laboratorio se procedió a fijarlo como un proceso artesanal. En la figura 3.1 se pueden observar los resultados de composición de la naranja en términos de pulpa, cáscara y semillas. Se observa que el 60.3% de los residuos de la fruta corresponden a la cáscara fresca.

Figura 3.1



Composición porcentual de los desechos cáscara de naranja

3.1.1.3 Secado y liofilizado

Tabla 3.1

Resultados de rendimiento de los tipos de secado

Secado		
Tipo de secado	Rendimiento (g cáscara seca/g cáscara húmeda)	Humedad post-secado (g agua/g cáscara seca)
Liofilización	36.96%	9.265%
Secado bandeja	23.75%	6.352%

Del estudio del secado, se demostró que existe un mayor rendimiento en la liofilización frente al secado en bandejas en un 13.21%. Esta diferencia representa la cantidad de humedad removida, para el secado por liofilización fue 9.265 % frente al 6.325 % del secado en bandejas. Tal como afirma Wang et al. (2023b), durante el secado en bandeja fueron removidos los compuestos con baja presión de vapor, donde es posible la pérdida de ciertos carotenos y terpenos que también reducen la coloración final del producto. Se observaron cambios significativos en la pigmentación de la piel seca de la fruta. Sin embargo, durante la liofilización el color de la cáscara fresca se conserva.

3.1.1.4 Molienda

Para el proceso de molienda se tomaron ocho muestras previamente usadas en secado en bandejas. Estas son presentadas en la siguiente tabla 3.2, se observó 96.11% de rendimiento para este proceso.

Tabla 3.1

Masas y rendimientos del proceso de molienda

Cáscara previa (kg)	Harina Molida (kg)	Rendimiento
1.90	1.826	96.11%

3.1.2 Extracción de Polifenoles

La primera extracción realizada, como fue establecido en la metodología, fue de compuestos polifenólicos. Una vez concluidas las extracciones de polifenoles, se realizó la

caracterización de polifenoles totales por una disolución de 1:50 de la muestra analizada.

Además, se procuró un triplicado de cada muestra. A continuación, se muestran los resultados del estudio.

Tabla 3.4

Medias y desviación estándar por harina

Tratamiento	mg Ácido Gálico/g de harina de cáscara	Desviación
CN-L	34.43	3.13
CN-F	30.94	2.39
CN-E6	31.09	1.59
CN-E17	33.81	2.64

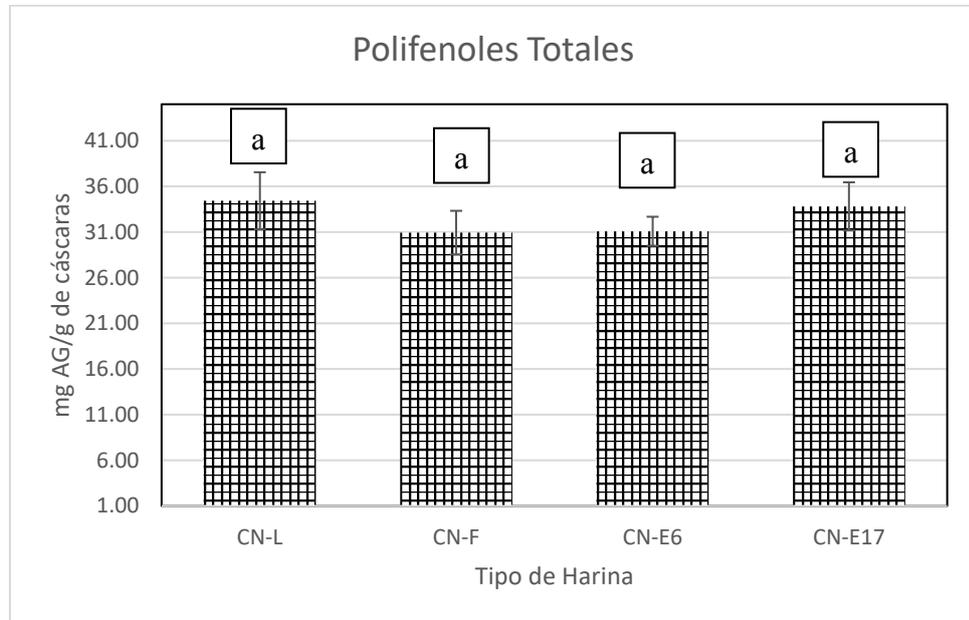
Los resultados presentaron una concordancia con respecto a los obtenidos por Beltrán et Piguave (2023). La liofilización fresca mostró la mayor concentración de ácido gálico entre los tratamientos, indicando un potencial significativo para la extracción de polifenoles. Seguida por la CN-E17, luego CN-F y CN-E6.

Los resultados demostraron que, luego del secado por liofilización, la segunda concentración más alta de polifenoles se encontró en la harina más envejecida (CN-E17). La variabilidad de los resultados es causada por la descomposición química generada por el paso del tiempo, efecto del almacenamiento (Mesquita & Monteiro, 2018). Adicionalmente, los resultados de las harinas de bandejas frescas y de 6 meses muy cercanas a 31 mg AG/g cáscara.

Estudios de extracción de CTP que permiten contrastar los resultados son tales como de 24,07 mg AG/g cáscara por Wang et al. (2023a). Otro estudio de interés es el desarrollado por Espinosa et al. (2022) donde presentó un rendimiento del 22.5 % para un mismo tiempo de extracción de 30 minutos, aunque a una temperatura de 80°C. Esto implica un mayor gasto energético en la extracción de este producto y posibles afectaciones a otros compuestos de valor en la harina.

Figura 3.2

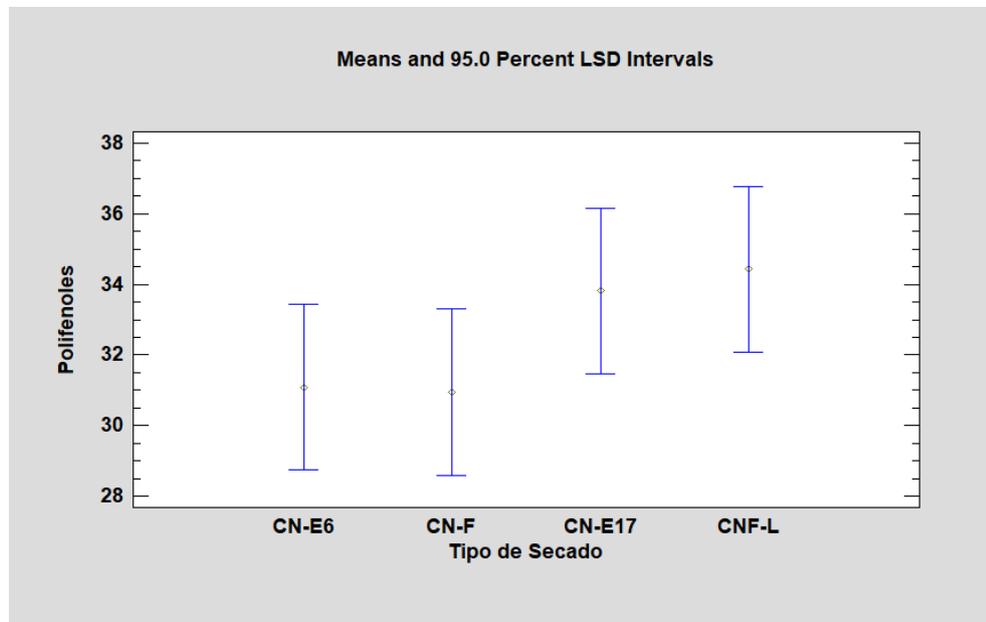
Gráfica de rendimientos y significancia de ácido gálico *por muestra en peso*.



Se realizó un estudio estadístico de medias a través de un análisis LSD con prueba de Fisher. En este se comprobó, que no existe una diferencia de significancia para cualquiera de las harinas utilizadas en este estudio en materia de polifenoles totales caracterizados por ácido gálico. Puesto que, a pesar de que se presentaron diferencias de rendimiento, estas fueron mínimas. La selección del tratamiento a emplearse por cada tipo de muestra dependerá del objetivo de su estudio.

Figura 3.3

Diagrama de barras para datos de polifenoles



Nota. Elaborado en STATGRAPHICS 19 (2024).

3.1.3 Extracción de aceite esencial

Continuando con la línea de extracción descrita, se obtuvieron los resultados referentes al aceite esencial. De estos se destaca que las harinas frescas, tanto por liofilización como por secado de bandejas, tienen un mayor contenido de aceite esencial. Obteniéndose así, resultados de 10.7 % de rendimiento y de 9.33% para estos procesos respectivamente. Esto se apoya en que la liofilización permite conservar más las moléculas bioactivas en piel de la naranja (Wang et al., 2023a).

Tabla 3.5

Medias y desviación estándar por harina

Tratamiento	Rendimiento (g AE/g de harina)	Desviación
CN-L	0.1070	0.0027
CN-F	0.0933	0.0084
CN-E6	0.0744	0.0096
CN-E17	0.0350	0.0047

Para una muestra de seis meses (CN-E6), se observa una disminución 0,0189 g AE por g de harina. Correspondiendo a una disminución del 20.02% del rendimiento frente a la harina fresca del mismo proceso. Finalmente, se observa que CN-E17 presenta una reducción del 60% de la concentración de AE en referencia a CN-F. Efectos que se pueden comprender desde el bajo punto de presión de vapor del limoneno, siendo este el terpeno de mayor (Mira et al., 1999). Sin embargo, estos compuestos también tienen una sensibilidad al tiempo y de las características del almacenamiento.

Figura 3.4

Gráfica de rendimientos y significancia de aceite esencial en peso de muestras.

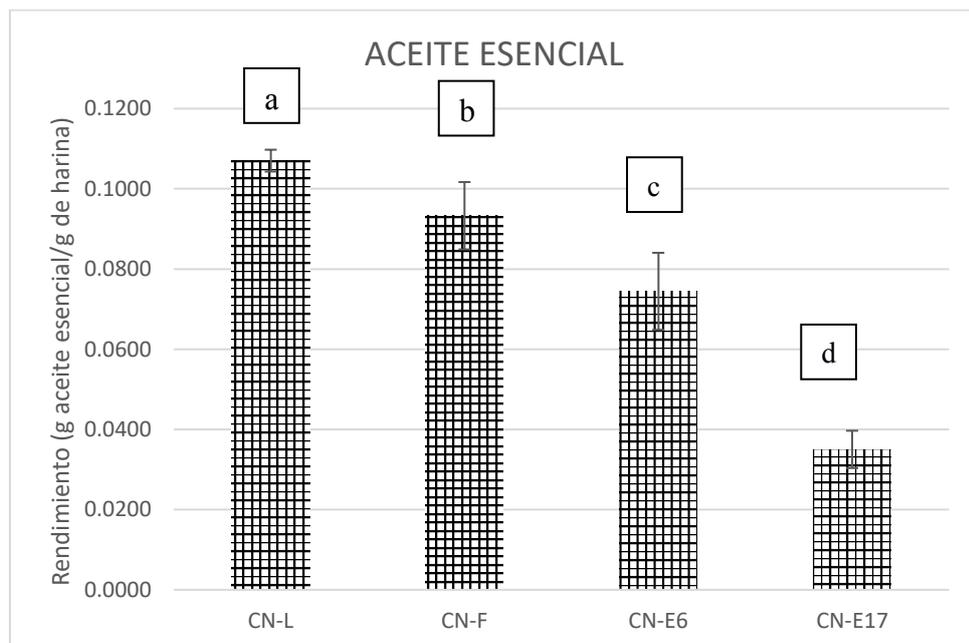
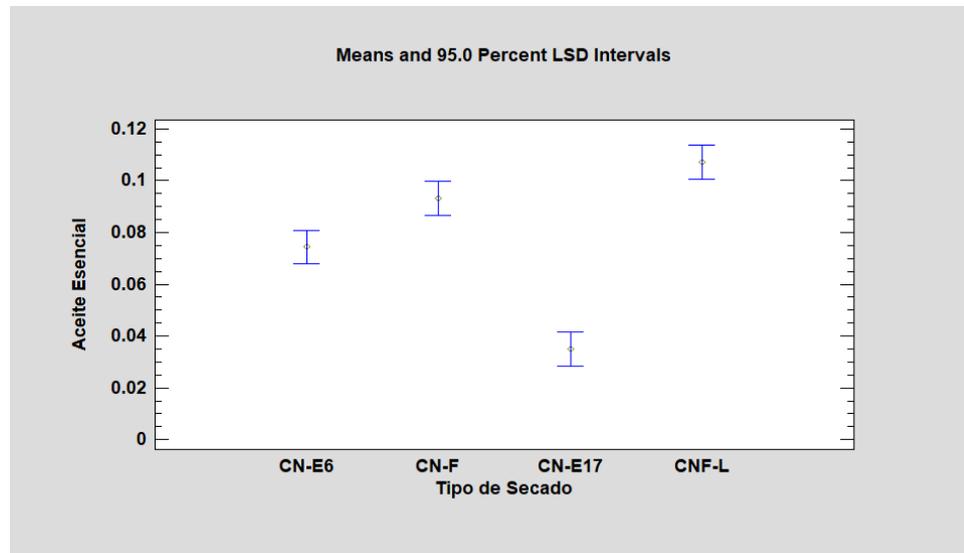


Figura 3.5

Gráfica de medias y desviaciones de aceite esencial según muestra



Nota. Elaborado en STATGRAPHICS 19 (2024).

Estadísticamente, se evidencia que todas las muestras son distintas, unas de las otras.

Teniendo cada muestra una letra de significancia diferente. Se contrasta por medio de un análisis LSD con prueba de Fisher. Cabe destacar que, otros estudios, como Cerón-Salazar & Cardona-Alzate (2009b) presentaron resultados del 1.57% de AE en base a cascaras secadas.

Se aplica cromatografía GC a los resultados obtenidos del AE obtenida por EAU. Este método es de utilidad para identificar y cuantificar el limoneno presente en los aceites. Este proceso se realizó por triplicado en el estudio de las muestras de aceites, con el apoyo del Laboratorio de Análisis Instrumental. Donde se reportaron rendimientos de un máximo de 3872.693 ppm D-L en relación con su tiempo de retención de 7.778 minutos.

3.1.4 Síntesis de pectina

Las pectinas son compuestos del conjunto de polisacáridos con pared celular, caracterizados por presentar ácido galacturónico (Hosseini et al., 2019). Esta experimentación se realizó por triplicado para la obtención de medias y corroboración de los resultados obtenidos. Se

pudo constatar que los resultados de la síntesis de las pectinas, en concordancia y continuación del experimento de Beltrán & Piguave (2023).

Tabla 3.6

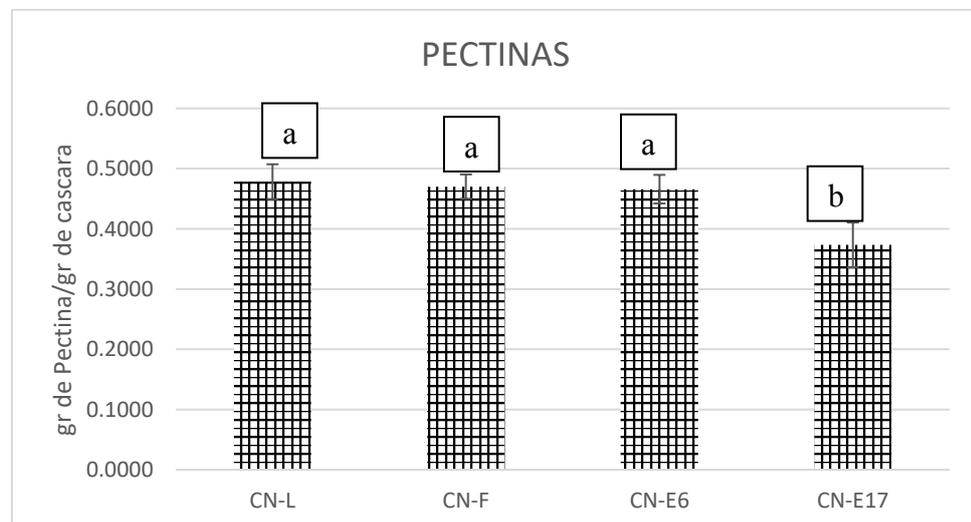
Medias y desviación estándar por harina

Tratamiento	Media	Desviación
CN-L	0.4782	0.029029
CN-F	0.4702	0.020253
CN-E6	0.4658	0.023753
CN-E17	0.3732	0.037225

Se mostraron resultados del 47.02% de rendimiento para una harina de cascara de naranja secada por bandeja con un tiempo de almacenaje menor a un mes. Presentándose un mayor contenido de pectinas en la harina tratada por liofilización del 47.82%. Se puede observar que, hasta los seis meses de almacenaje de la harina, las pérdidas de pectinas en peso son menores al uno por ciento. CN-E17 presentó una considerable reducción del rendimiento en un 10% aproximadamente además de presentar pigmentaciones referentes a oxidación (Frempong et al., 2022).

Figura 3.6

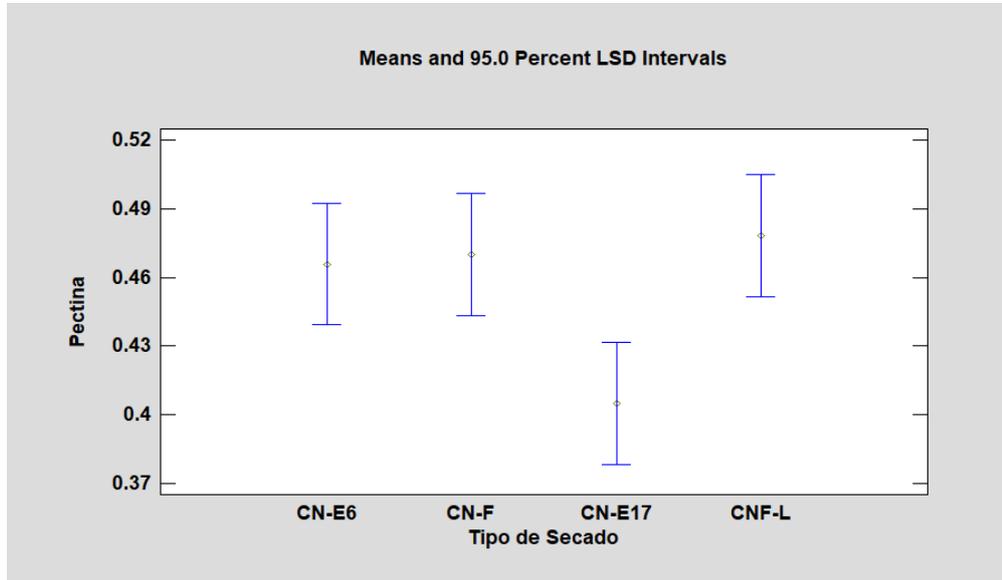
Gráfica de rendimientos y significancia de pectinas en peso de muestras.



Nota. Grafica de barras para análisis estadístico.

Figura 3.7

Gráfica de medias y desviaciones de pectina según muestra



Nota. Elaborado en STATGRAPHICS 19 (2024).

Gráficamente y por estudio de medias, se puede denotar que no existe diferencia de rendimiento entre las muestras CN-FL, CN-F, CN-E6. Por lo que el tiempo no muestra una diferencia significativa en el rendimiento de este compuesto de interés. Hecho que permite denotar con una misma letra de significancia a los tres compuestos, diferenciándolos de la muestra CN-E17, que presenta una pérdida significativa de contenido en gramos de pectinas. Facto que implica la posibilidad de uso de cualquiera de las harinas mencionadas para extracciones.

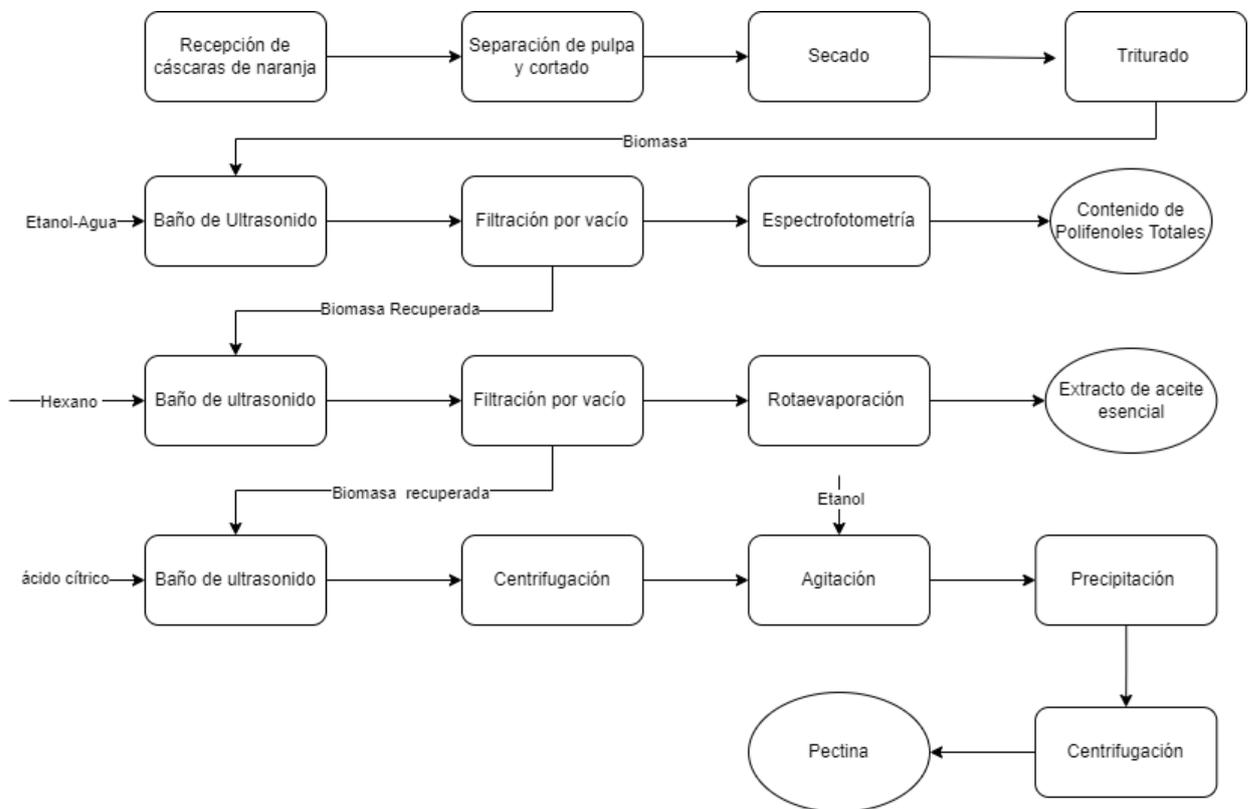
Como parte de la conceptualización del estudio, se puede denotar los resultados de otras fuentes. (Tsouko et al., 2020) presenta rendimientos de 32.6% en peso, siguiendo una experimentación similar. Por su parte Quilez-Molina et al (2023) presentan un rango de entre 30% y 45% de rendimiento.

3.1.5 Diagrama de bloques del proceso

Este trabajo tomó como base el diseño del proceso planteado por Beltrán & Piguave (2023), donde se establecen las condiciones adecuadas para el correcto aprovechamiento de las extracciones de polifenoles y aceite esencial y la síntesis de pectina. El cual fue replicado cumpliendo con el proceso que se puede evidenciar en el diagrama de bloques de la figura 3.8.

Figura 3.8

Diagrama de Bloques del Proceso



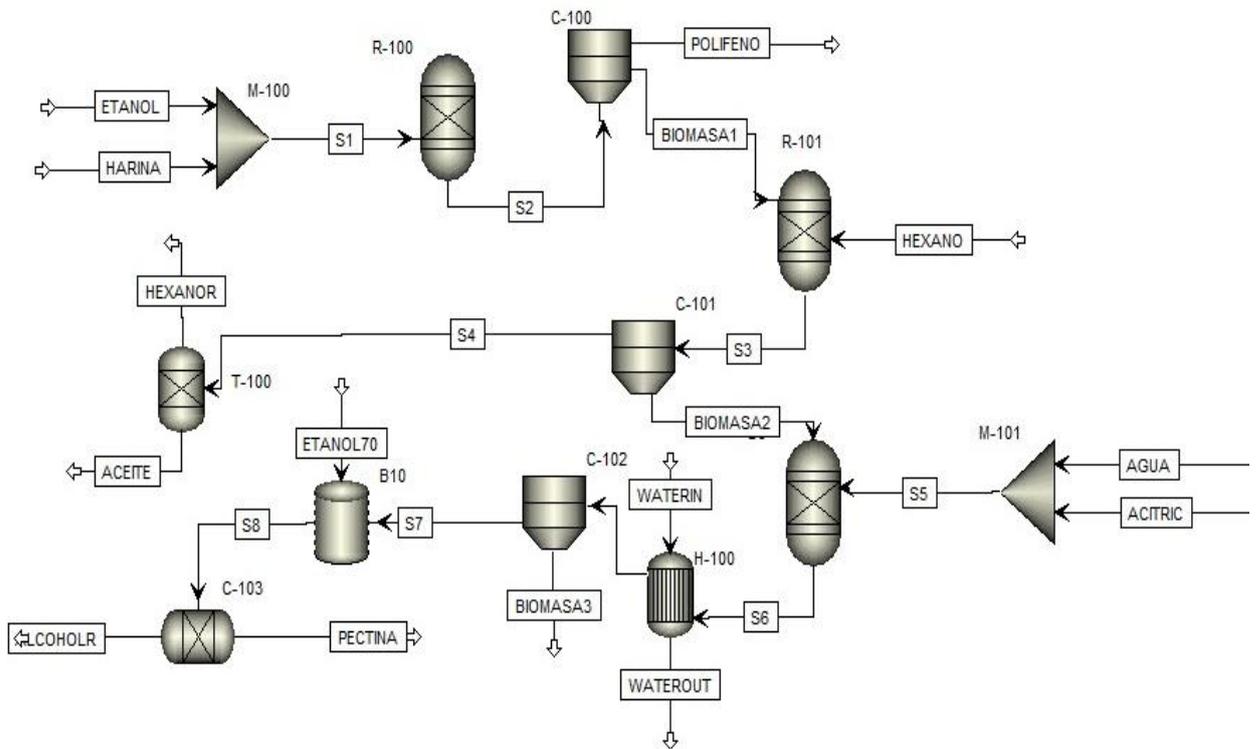
3.1.4 Simulación

3.1.4.1 Diagrama del proceso

Para la simulación del proceso se consideró desde el ingreso de la harina de cáscara de naranja, puesto a que la preparación de la harina fue denotado un pretratamiento de la materia prima, lo cual no se incluyó en la simulación ya que no se ve afectando los rendimientos de los productos.

Figura 3.9

Diagrama del Proceso en ASPEN PLUS



Nota. Elaborado en ASPEN PLUS (2024).

3.1.4.2 Equipos

Tabla 3.7

Equipos y nomenclatura de la simulación

Equipo	Código
Extractor	R-100
Extractor	R-101
Extractor	R-102
Centrifuga	C-100
Centrifuga	C-101
Centrifuga	C-102
Separador	T-100
Separador	C-103
Intercambiador de calor	H-100
Mezclador	M-100
Mezclador	M-101

Nota. Equipos incluidos en el proceso global.

3.1.4.3 Determinación de Flujos

Con los resultados obtenidos en los rendimientos de cada uno de los componentes bioactivos, en la simulación se consideró el uso de harinas de cáscara de naranja que pueden tener un tiempo de almacenamiento de hasta seis meses. Con el fin de tener una producción anual continua sin tener que detener producción por temporadas de baja cosecha de naranja, lo cual desencadenaría una escasez de esta materia prima.

Considerando la producción de desechos de cáscara anualmente por cadenas de supermercados en el Ecuador, cuyo valor llega a las cinco toneladas diarias. En este desarrollo de planta se aplicó el tratamiento para una tonelada de harina de cáscara de naranja por día, en específico a la biomasa obtenida por secado de bandeja con un envejecimiento de seis meses. Considerando los rendimientos obtenidos para cada uno de los componentes bioactivos planteados en la sección 3.1 donde se tomó en cuenta un rendimiento de 3.09% para TPC m/m, 9.32% para Aceite esencial m/m y 47.01 % para pectina m/m.

3.1.4.4 Resultados de la simulación

Para este estudio, se consideró como objetivo los rendimientos de los productos planteados. Por lo que es de interés las corrientes de salida de estos obtenidos en la simulación de ASPEN PLUS, los cuales son evidenciados en la tabla 3.8.

Tabla 3.8

Corrientes de Productos de la simulación

Producto	Flujo [ton/día]
Polifenoles	0.0419
Aceite esencial	0.1162
Pectina	0.4797

Nota. Flujos obtenidos en la sumatoria de corrientes de la simulación.

Para validar los resultados obtenidos, se realizó una comparación entre los rendimientos obtenidos experimentalmente y en la simulación para comprender las desviaciones que se pueden observar dado que no se trabaja en escenarios ideales al momento de realizar extracciones experimentalmente presentes en la tabla 3.9.

Tabla 3.9

Comparaciones de rendimientos de los productos deseados

Producto	Rendimiento	Rendimiento simulación	Error Porcentual [%]
	Experimental [%]	[%]	
Polifenoles	3.09	4.19	35.59
Aceite esencial	9.32	11.26	20.81
Pectina	47.01	47.97	2.003

Nota. Rendimientos obtenidos en laboratorio comparados con los obtenidos en la simulación.

3.1.6 Análisis de Costos

Con ayuda de la simulación se obtuvieron los flujos de producción en base a 1 tonelada de harina de cáscara de naranja. Se calcula que la producción diaria sería de 4,25 kg/h de aceite esencial, 19.99 kg/h de pectina y 1.28 kg/h de polifenoles, en el apéndice N se puede observar el precio de cada uno de los productos para mayor entendimiento de este análisis.

Para la evaluación de la viabilidad de este trabajo se estableció un flujo de caja de 5 años (apéndice O). Se empezó con una inversión de \$24,612,491, esta consideró los ingresos de las ventas anuales de cada uno de los productos y los egresos que abarcan las compras de suministros y equipos de la planta, los cuales pueden observarse en el apéndice M y apéndice L respectivamente.

Se plantearon las tasas de interés anuales establecidos por el artículo que lleva como título Ecuador de acuerdo con la Inflación anual de Ecuador cerró en 2,23% en septiembre de 2023 (n.d.). Evidenciado en el apéndice P, con el fin de obtener la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), obteniendo un valor de 23.2%. Con ayuda del flujo de caja anual el valor actual neto (VAN) retornó un valor de \$30,542,148. Un valor de la tasa interna de retorno (TIR) del 36.5% representando un valor mayor al TMAR. Indicador que la construcción de una planta de esta índole es de gran beneficio económico. Además, un tiempo de recuperación de inversión de 1.9 años. Haciendo una comparación con el estudio de la prefactibilidad económica de una planta que obtiene aceite esencial y pectina planteado por Muñoz Briones et al. (2021). En el que establecieron su producción para cinco toneladas de cáscara de naranja, calculando valores de VAN y TIR de \$ 1.762.877,40 y 15,28% respectivamente. Se observó una notoria diferencia en tanto a los valores obtenidos, se comprendió por la falta de obtención de polifenoles, lo cual representa un factor importante para la economía de la planta.

Por medio del software CAPCOST 2017 se plantearon los precios por equipos, suministros, productos y servicios, para obtener una proyección de flujos de dinero de un lapso de 12 años. Se constató en el apéndice R, lo cual valida el valor de VAN reflejado y representa un crecimiento exponencial en tanto a los ingresos.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

El estudio de TPC, por medio de su caracterización con ácido gálico, no demostró cambios en los rendimientos de las diferentes muestras procesadas. Estadísticamente, se muestra que todos los sujetos de estudio de polifenoles están dentro del mismo grado de significancia, permitiendo realizar las extracciones de la materia prima de menor valor.

Los análisis comparativos con prueba Fisher, revelaron diferencias significativas solo en las extracciones de AE de las diferentes harinas de naranja. Presentándose una clara respuesta al tiempo y el tipo de secado con respecto del aceite esencial. La comparación demuestra que existe una disminución del rendimiento del aceite extraíble desde los seis meses de almacenaje de la harina. Aunque esta merma podría ser estudiada desde otros puntos clave como condiciones de almacenaje.

En tanto a la síntesis de pectinas, la caracterización y rendimiento demuestra que no hay una incidencia en el tipo de secado y almacenaje de seis meses. De los resultados obtenidos se observa que llegados los 17 meses de almacenamiento de la harina es cuando se presentan cambios de oxidación y de rendimiento en este biocomponente. Presentando una reducción del 19.88% en peso con respecto a una harina fresca.

El balance de materia general desarrollado estableció un punto de partida en el diseño de una planta, con el fin de saber cuánto producto se puede esperar por el tratamiento de determinada cantidad de materia. Donde se presentan los rendimientos a nivel laboratorio y de la incidencia del almacenamiento y tipo de secado de la harina de cáscara de naranja. Este modelo proporciona una herramienta efectiva para predecir la producción de componentes bioactivos en función de las variables del proceso, facilitando la optimización y escalado del mismo.

Con de los rendimientos obtenidos por los tratamientos realizados en laboratorio, se obtuvo una simulación que replicó estos resultados para obtener flujos a escala industrial con

producción para una tonelada de harina de cáscara de naranja al día, consiguiendo rendimientos de 4.19% para polifenoles, 11.26% para Aceite esencial y 47.97% para pectina y así obtener sus flujos de producción que consecuentemente brinda los ingresos anuales de los productos establecidos, para concluir con el análisis económico que el desarrollo de una planta de extracción de componentes bioactivos de la cáscara de naranja es viable con los tratamientos previamente establecidos. Con los valores de VAN, TIR y TMAR en el análisis económico realizado se concluye que la inversión en este proyecto es de bajo riesgo con una recuperación de capital total en menos de dos años de producción.

4.1.2 Recomendaciones

En el estudio comparativo y estadístico, se recomienda en realizar la experimentación contemplando las harinas de cáscaras de naranja liofilizadas y almacenadas para un diseño factorial 3K en conjunto con los tipos de secado. Este permitirá comprender mejor el nivel de incidencia de las variables de estudio para el funcionamiento de una planta piloto.

Se recomienda realizar un estudio de condiciones de almacenaje y su incidencia en la guarda de la harina de la naranja. De modo que se puedan analizar factores como degradación de moléculas, oxidación y otras variaciones que ocurren en la guarda. Para ello se propone variar humedades, temperaturas.

Estudio de degradación y pérdida de AE. Se recomienda, estudiar la permeabilidad de los diferentes terpenos del aceite esencial. Dado que, se obtuvo una pérdida de este de una de las muestras que reaccionó con el recipiente de poliestireno.

Se incita a un estudio de composición de residuos del proceso de extracción. De modo que se puedan caracterizar otros compuestos de interés en la biomasa descartada del proceso. Permitiendo así, reducir la cantidad de desechos y aumentar el total de aprovechamiento de los procesos industriales asociados.

En continuación a la simulación, se anima al estudio a profundidad de la planta piloto para el sistema simulado. A modo de corroboración y contraste a los análisis realizados en laboratorio y ASPEN. De modo que se logre ajustar dimensiones y la factibilidad económica con un diseño de planta completo.

A pesar de que de la harina obtenida por medio de liofilización logra conservar mejor el aroma y color de esta, los rendimientos de extracción no distan mucho del secado de bandeja. La comparación en fresco de ambos procesos de secado demuestra solamente una diferencia en la extracción de aceite esencial. Hecho que promueve el uso del secador de bandejas en la búsqueda del escalamiento a un proceso de planta piloto. Dado que este conlleva un menor costo operacional y menor tiempo de residencia.

En el análisis de las pectinas, se anima a realizar mayores estudios de caracterización de los compuestos obtenidos. Considerando que estos compuestos pueden ser aprovechados en industria alimentaria. Además de medir el contenido de ácido galacturónico y la capacidad de esterificación.

Referencias

- Aguiar, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022a). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, *1*(27), 2–5.
<https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Aguiar, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022b). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, *1*(27), 5–11.
<https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Almeida, C., Carillo, I., Chamarro Armas, S., & Palacios Cabrera, T. (2019). *Vista de Diseño de una planta piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja (Citrus Sinensis)*. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.1274>
- Ángel Siles López, J., Li, Q., & Thompson, I. P. (2010). Biorefinery of waste orange peel. In *Critical Reviews in Biotechnology* (Vol. 30, Issue 1, pp. 63–69).
<https://doi.org/10.3109/07388550903425201>
- Beltrán, E., & Piguabe, J. (2023). *Desarrollo de un proceso para la obtención de polifenoles, aceite esencial y pectina de la cascara de naranja por medio de ultrasonido*. Espol.
- Bozkir, H., Tekgül, Y., & Erten, E. S. (2021). Effects of tray drying, vacuum infrared drying, and vacuum microwave drying techniques on quality characteristics and aroma profile of orange peels. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(1), 10–12.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13611>
- Brezo-Borjan, T., Švarc-Gajić, J., Morais, S., Delerue-Matos, C., Rodrigues, F., Lončarević, I., & Pajin, B. (2023). Chemical and Biological Characterization of Orange (*Citrus sinensis*) Peel Extracts Obtained by Subcritical Water. *Proceses*, *11*(6).
<https://doi.org/10.3390/pr11061766>

Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2009a). *Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja.*

Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2009b). *Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja.*

David, D., Alzate, A. F., Rojano, B., Copete-Pertuz, L. S., Echeverry, R., Gutiérrez, J., & Zapata-Vahos, I. C. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial activity from avocado seed (*Persea americana* mill). *Bionatura*, 7(4). <https://doi.org/10.21931/RB/2022.07.04.51>

El-Nawawi, S. A., & Shehata, F. R. (1987). Extraction of pectin from Egyptian orange peel. Factors affecting the extraction. *Biological Wastes*, 20(4), 281–290. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(87\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90005-X)

Eric C. Carlson. (1996). *SUCCEEDING AT SIMULATION Don't Gamble with Physical Properties for Simulations.*

Espinosa Díaz, M. A., Guetachew, T., Landy, P., Jose, J., & Voilley, A. (1999). Experimental and estimated saturated vapour pressures of aroma compounds. In *Fluid Phase Equilibria* (Vol. 157). [https://doi.org/10.1016/s0378-3812\(99\)00016-3](https://doi.org/10.1016/s0378-3812(99)00016-3)

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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115413>

Frempong, K. E. B., Chen, Y., Wang, Z., Xu, J., Xu, X., Cui, W., Gong, H., Peng, D., Liang, L., Meng, Y., & Lin, X. (2022). Study on textural changes and pectin degradation of tarocco blood Orange during storage. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 344–358. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2032736>

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., Kazemi, M., & Najari, Z. (2019). Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method. *International Journal of Biological Macromolecules*, *125*, 621–629.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.096>

La inflación anual de Ecuador cerró en 2,23% en septiembre de 2023. (n.d.). Retrieved January 11, 2024, from <https://www.primicias.ec/noticias/economia/inflacion-alimentos-limon-precios/>.

Larrosa, A. P. Q., & Otero, D. M. (2021). Flour made from fruit by-products: Characteristics, processing conditions, and applications. In *Journal of Food Processing and Preservation* (Vol. 45, Issue 5). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15398>

Louie, K. B., Kosina, S. M., Hu, Y., Otani, H., de Raad, M., Kuftin, A. N., Mouncey, N. J., Bowen, B. P., & Northen, T. R. (2020). Mass Spectrometry for Natural Product Discovery. In *Comprehensive Natural Products III* (pp. 263–306). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.14834-6>

Mädler, J., Koch, A., Bamberg, A., & Urbas, L. (2023). Process Validation in Modular Plants considering the Scale-Up and Prior Knowledge. *Computer Aided Chemical Engineering*, *52*, 2057–2062. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50327-9>

Mello, R. E., Fontana, A., Mulet, A., Corrêa, J. L. G., & Cárcel, J. A. (2021). PEF as pretreatment to ultrasound-assisted convective drying: Influence on quality parameters of orange peel. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *72*, 102753.

<https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102753>

Mesquita, E., & Monteiro, M. (2018). Simultaneous HPLC determination of flavonoids and phenolic acids profile in Pêra-Rio orange juice. *Food Research International*, *106*, 54–63.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.12.025>

- Mira, B., Blasco, M., Berna, A., & Subirats, S. (1999). Supercritical CO₂ extraction of essential oil from orange peel. Effect of operation conditions on the extract composition. *The Journal of Supercritical Fluids*, *14*(2), 95–104. [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(98\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(98)00111-9)
- Muñoz Briones, P., Almeida-Streitwieser, D., Fonseca-Ashton, J. D., & Alvarez-Barreto, J. F. (2021). Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de la implementación de una biorrefinería para la conversión de residuos de cáscara de naranja. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, *13*(2), 14. <https://doi.org/10.18272/aci.v13i2.2289>
- Obafaye, R. O., & Omoba, O. S. (2018). Orange peel flour: A potential source of antioxidant and dietary fiber in pearl-millet biscuit. *Journal of Food Biochemistry*, *42*(4). <https://doi.org/10.1111/jfbc.12523>
- Patience, N. A., Schieppati, D., & Boffito, D. C. (2021). Continuous and pulsed ultrasound pectin extraction from navel orange peels. *Ultrasonics Sonochemistry*, *73*, 105480. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105480>
- Piccinno, F., Hischier, R., Seeger, S., & Som, C. (2016). From laboratory to industrial scale: a scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies. *Journal of Cleaner Production*, *135*, 1085–1097. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.06.164>
- Quilez-Molina, A. I., Oliveira-Salmazo, L., Amezúa-Arranz, C., López-Gil, A., & Rodríguez-Pérez, M. Á. (2023). Evaluation of the acid hydrolysis as pre-treatment to enhance the integration and functionality of starch composites filled with rich-in-pectin agri-food waste orange peel. *Industrial Crops and Products*, *205*, 117407. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117407>
- Rossetti, I., & Compagnoni, M. (2016). Chemical reaction engineering, process design and scale-up issues at the frontier of synthesis: Flow chemistry. *Chemical Engineering Journal*, *296*, 56–70. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2016.02.119>

- Segovia Montalván, E., Varela Solorzano, M., Torres Navarrete, E., & Gonzales Osorio, B. (2022). Producción y comercialización de naranja (*Citrus sinensis* L.): Caso cantón Caluma, provincia de Bolívar, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, *15*(2), 1–6.
<https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.573>
- Silva, C. R. (n.d.). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA CREACIÓN DE EMPRESA PRODUCTORA DE ACEITE ESENCIAL DE MARACUYÁ PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE*. Retrieved November 6, 2023, from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2092/1/CD-0995.pdf>.
- 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>
- Utekar, P. G., Kininge, M. M., & Gogate, P. R. (2021). Intensification of delignification and enzymatic hydrolysis of orange peel waste using ultrasound for enhanced fermentable sugar production. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *168*, 108556.
<https://doi.org/10.1016/J.CEP.2021.108556>
- Wang, Z., Zhong, T., Mei, X., Chen, X., Chen, G., Rao, S., Zheng, X., & Yang, Z. (2023a). Comparison of different drying technologies for brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Changes in color, phytochemical profile, volatile, and biological availability, and activity of bioactive compounds. *Food Chemistry*, *425*.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136539>
- Wang, Z., Zhong, T., Mei, X., Chen, X., Chen, G., Rao, S., Zheng, X., & Yang, Z. (2023b). Comparison of different drying technologies for brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Changes in color, phytochemical profile, volatile, and biological availability, and activity of

bioactive compounds. *Food Chemistry*, 425.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136539>

APÉNDICE

Tanda	M Con pulpa y semillas (kg)	M cáscara (kg)	x (kg/kg)
1	5.160	3.160	0.612
2	4.560	2.590	0.568
3	4.860	2.720	0.560
4	14.050	8.580	0.611
5	3.820	2.310	0.605
6	4.620	2.810	0.608
7	3.290	2.030	0.617
8	5.160	3.170	0.614
9	1.218	0.758	0.622
10	1.384	0.767	0.554
11	0.416	0.303	0.729
12	0.423	0.297	0.703
13	0.417	0.288	0.692
14	0.418	0.255	0.610
15	0.264	0.143	0.541
total	50.060	30.182	0.603

Apéndice A. Composición de materia prima (cáscara y pulpa con semillas)

Ensayo	Cáscara fresca (kg)	Cáscara Seca (kg)	x (kg/kg)
1	1	0.24	0.24
2	1	0.24	0.24
3	1	0.23	0.23
4	1	0.23	0.23
5	1	0.24	0.24
6	1	0.23	0.23
7	1	0.25	0.25
8	1	0.24	0.24
Total	8	1.9	0.2375

Apéndice B. Resultados en kg de cáscara en secado de bandejas

Ensayo	Cáscara fresca (kg)	Cáscara Seca (kg)	x (kg/kg)
1	0.5500	0.2115	38.45%
2	0.5400	0.205	37.96%
3	0.5106	0.1751	34.29%
Total	1.6006	0.5916	promedio

Apéndice C. Resultados en kg de cáscara en Liofilizador

Muestra	Tipo de secado	Humedad (kg/kg)
1	secado bandeja	6.797%
2	secado bandeja	5.154%
3	secado bandeja	6.556%
4	secado bandeja	7.204%
5	Liofilizado	6.352%
6	Liofilizado	14.337%
7	Liofilizado	7.105%
Promedio		7.643%

Apéndice D. Resultados de humedad porcentual en peso de cáscaras secas

MASAS	Cáscara Inicial (kg)	Cáscara Molida (kg)
1	0.24	0.235
2	0.24	0.224
3	0.23	0.227
4	0.23	0.221
5	0.24	0.236
6	0.23	0.214
7	0.25	0.238
8	0.24	0.231
Total	1.9	1.826
	Promedio	0.961052632

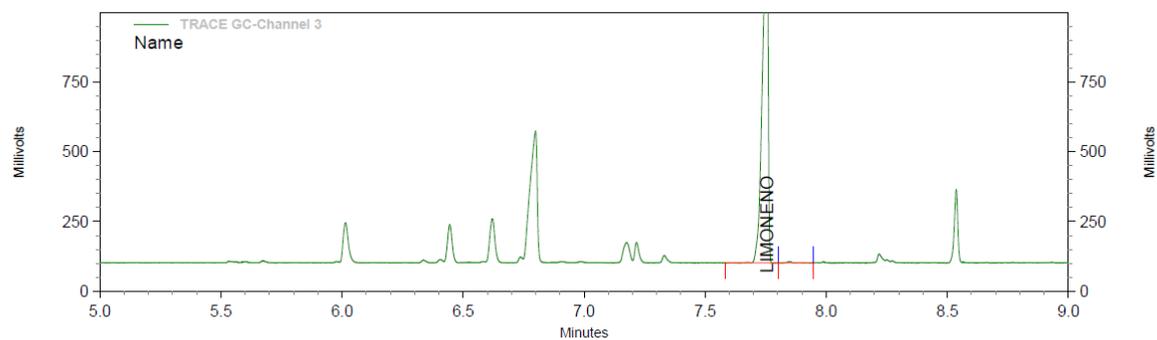
Apéndice E. Rendimiento de molienda en peso de cáscaras secas

Nomenclatura	Dilución		R1	R2	R3	Promedio	ABS	ug AG/ml muestra diluida	FD	ug AG/ml muestra	g muestra	ml solvente	ug AG/g de cáscaras	mg Ácido Gálico/g de harina de cáscara
CN-L	1	50	0.155	0.152	0.144	0.1503333	0.1023333	35.914325	50	1795.7	1	20	35914.3	35.914325
CN-L	2	50	0.15	0.149	0.147	0.1486667	0.1033333	36.530297	50	1826.5	1	20	36530.297	36.530297
CN-L	3	50	0.131	0.133	0.14	0.1346667	0.0866667	30.834485	50	1541.7	1	20	30834.5	30.834485
CN-F	4	50	0.137	0.138	0.128	0.1343333	0.0863333	30.726403	50	1536.3	1	20	30726.4	30.726403
CN-F	5	50	0.13	0.126	0.128	0.128	0.08	28.67285	50	1433.6	1	20	28672.9	28.67285
CN-F	6	50	0.132	0.143	0.153	0.1426667	0.0946667	33.428446	50	1671.4	1	20	33428.4	33.428446
CN-E6	7	50	0.14	0.137	0.146	0.141	0.093	32.888037	50	1644.4	1	20	32888.0	32.888037
CN-E6	8	50	0.131	0.139	0.131	0.1336667	0.0856667	30.510239	50	1525.5	1	20	30510.2	30.510239
CN-E6	9	50	0.139	0.128	0.128	0.1316667	0.0836667	29.861749	50	1493.1	1	20	29861.7	29.861749
CN-E7	10	50	0.135	0.138	0.132	0.135	0.087	30.942566	50	1547.1	1	20	30942.6	30.942566
CN-E7	11	50	0.15	0.151	0.152	0.151	0.103	36.130489	50	1806.5	1	20	36130.5	36.130489
CN-E7	12	50	0.141	0.143	0.143	0.1423333	0.097	34.365573	50	1718.3	1	20	34365.573	34.365573

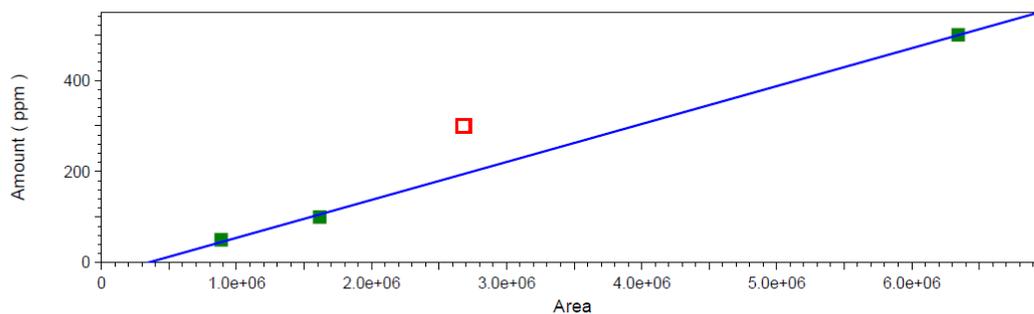
Apéndice F. Matriz Plackett Burman para contenido total de polifenoles en términos de ácido gálico

Nomenclatura	Tratamiento	Dilución	Peso muestra (g)	Peso aceite (g)	Rendimiento
CN-L	G03 #1	15	5.0006	0.5205	10.409%
CN-L	G03 #2	15	3.9987	0.4377	10.946%
CN-L	G03 #3	15	4.0005	0.4302	10.754%
CN-F	F104 #1	15	4.9998	0.4368	8.736%
CN-F	F104 #2	15	4.0001	0.4116	10.290%
CN-F	F104 #3	15	4.001	0.3585	8.960%
CN-E6	B12 #1	15	4.9996	0.3501	7.003%
CN-E6	B12 #2	15	3.9998	0.3418	8.545%
CN-E6	B12 #3	15	3.9989	0.2713	6.784%
CN-E7	H12 #1	15	4.9999	0.1893	3.786%
CN-E7	H12 #2	15	4.0001	0.11859	2.965%
CN-E7	H12 #3	15	3.9996	0.1502	3.755%

Apéndice G. Matriz de resultados en peso de aceite esencial extraída por muestra



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

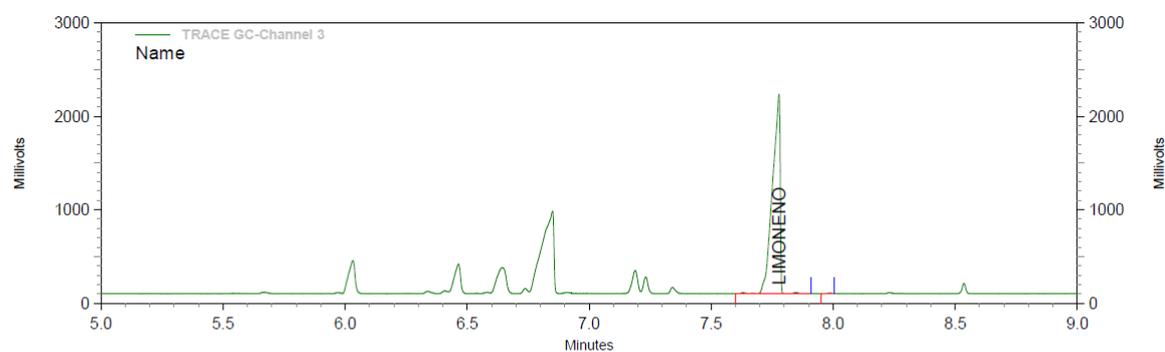


TRACE
GC-Channel 3
Results (System
(1/18/2024
9:01:38 PM)
(Reprocessed))

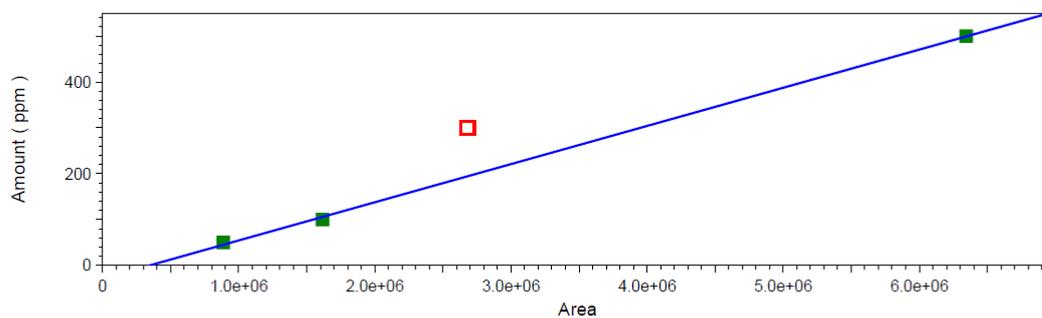
Pk #	Name	Retention Time	Area	Concentration	ESTD concentration
1	LIMONENO	7.755	20686910	0.000	1692.178
Totals			20686910	0.000	1692.178

Apéndice H. Análisis de HPLC para la identificación de d-limoneno en muestras por CN-F,

LAQUINS



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



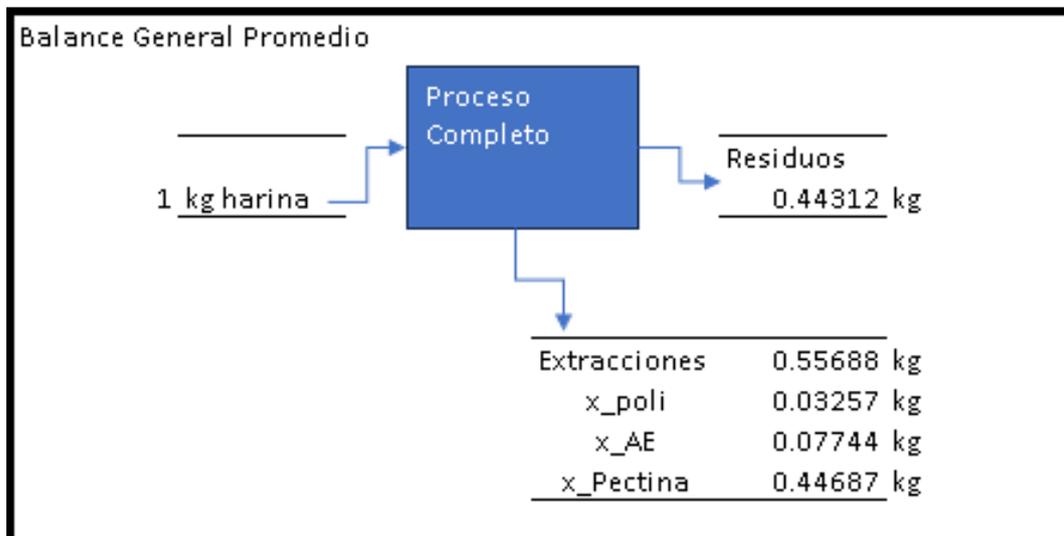
TRACE
GC-Channel 3
Results (System
(1/18/2024
9:21:52 PM)
(Reprocessed))

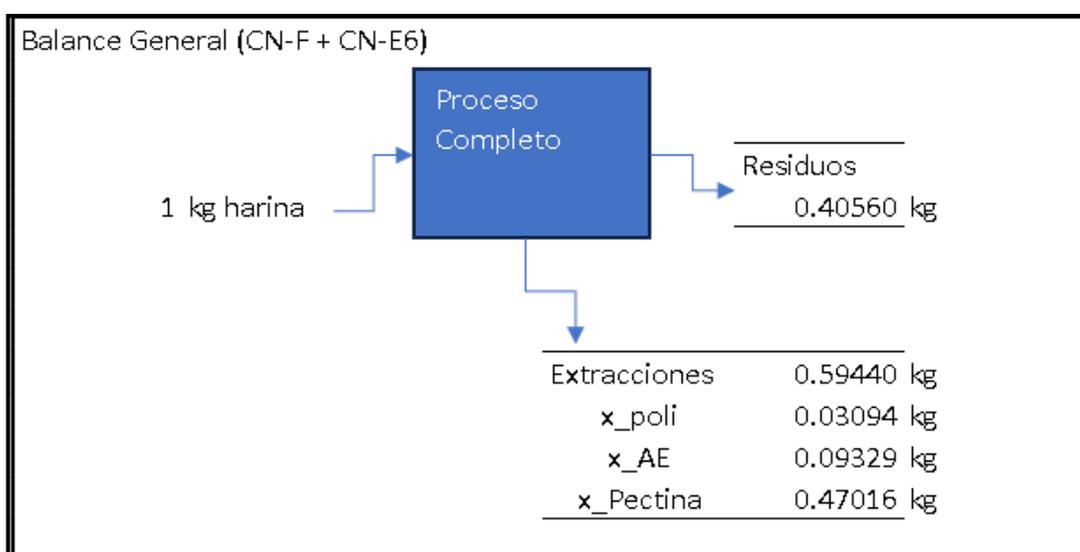
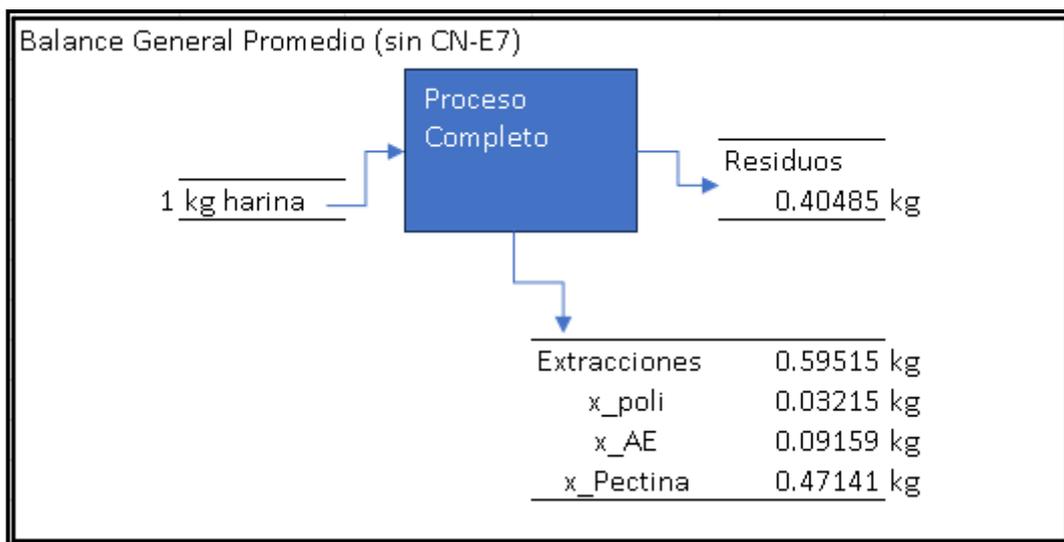
<i>Pk #</i>	<i>Name</i>	<i>Retention Time</i>	<i>Area</i>	<i>Concentration</i>	ESTD concentration
1	LIMONENO	7.778	46901505	0.000	3872.693
Totals			46901505	0.000	3872.693

**Apéndice I. Análisis de HPLC para la identificación de d-limoneno en muestras por CN-
E7, LAQUINS**

Nomenclatura	Tratamiento	Dilución	Peso muestra	Peso pectina	Rendimiento
CN-L	G03 #1	25	5.0006	2.2492	0.449786
CN-L	G03 #2	25	3.9987	1.9078	0.4771051
CN-L	G03 #3	25	4.0005	2.0315	0.5078115
CN-F	F104 #1	25	4.9998	2.2433	0.4486779
CN-F	F104 #2	25	4.0001	1.8917	0.4729132
CN-F	F104 #3	25	4.001	1.9561	0.4889028
CN-E6	B12 #1	25	4.9996	2.1919	0.4384151
CN-E6	B12 #2	25	3.9998	1.9207	0.480199
CN-E6	B12 #3	25	3.9989	1.915	0.4788817
CN-E7	H12 #1	25	4.9999	2.2292	0.4458489
CN-E7	H12 #2	25	4.0001	1.493	0.3732407
CN-E7	H12 #3	25	3.9996	1.581	0.3952895

Apéndice J. Matriz de resultados en peso de pectina sintetizada por muestra





Apéndice K. Balances Generales Promedios de extracciones en base de harinas

Equipo	Código	Precios
Extractor	R-100	\$60000
Extractor	R-101	\$17400
Extractor	R-102	\$23800
Centrifuga	C-100	\$138000
Centrifuga	C-101	\$138000
Centrifuga	C-102	\$138000
Separador	T-100	\$91900
Separador	C-103	\$91900
Intercambiador de calor	H-100	\$25400
Mezclador	M-100	\$96600
Mezclador	M-101	\$96600

apéndice L. Costos de inversión de equipos

Material	Precio [\$/kg]	Flujo [kg/h]	Costo anual
Etanol	\$ 6.00	247.00	\$ 12,33,204
Ácido cítrico	\$ 6.00	0.03	\$ 1,493
Hexano	\$ 9.00	91.60	\$ 6,860,657

Apéndice M. Costos de suministros anuales

Material	Precio [\$/kg]	Flujo [kg/h]	Ingreso anual
Aceite Esencial	\$ (5,000.00)	4.25	\$ (176,842,500)
Pectina	\$ (20.00)	19.99	\$ (3,328,800)
Polifenoles	\$ (45.00)	1.28	\$ (479,347)

Apéndice N. Ingresos anuales

Parámetro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		\$ (180,650,647)	\$119,229,427	\$204,135,231	\$807,508,393	\$626,857,746
Egresos	\$-24,612,491	\$ 23,712,707	\$ 23,712,707	\$ 23,712,707	\$ 23,712,707	\$ 23,712,707
Flujo de caja		\$ (156,937,940)	\$95,516,720	\$180,422,525	\$783,795,686	\$603,145,039

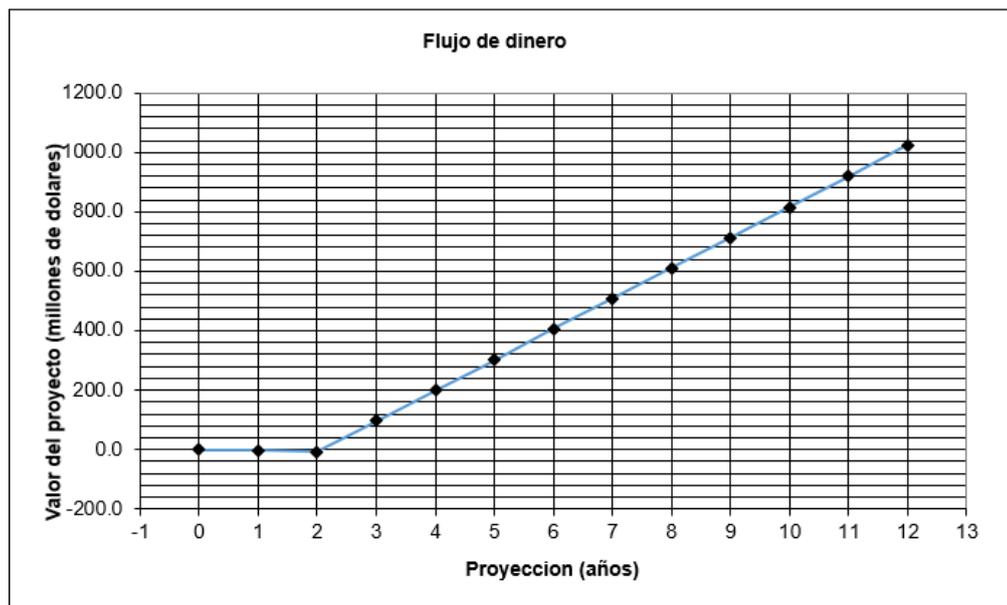
Apéndice O. Flujo de caja en proyección de 5 años

No.	Año	[%]
1	2019	0.27
2	2020	-0.34
3	2021	0.13
4	2022	3.47
5	2023	2.47
f = inflación media anual [%]		1.2
i = Tasa de interés		10
TMAR		23.2

Apéndice P. Interés Anual y TMAR

Inversión	\$24,612,491
Retorno de inversión (Años)	1.9
VAN	\$30,542,148
TIR	36.50%
TMAR	23.20%

Apéndice Q. Valores de VAN y TIR



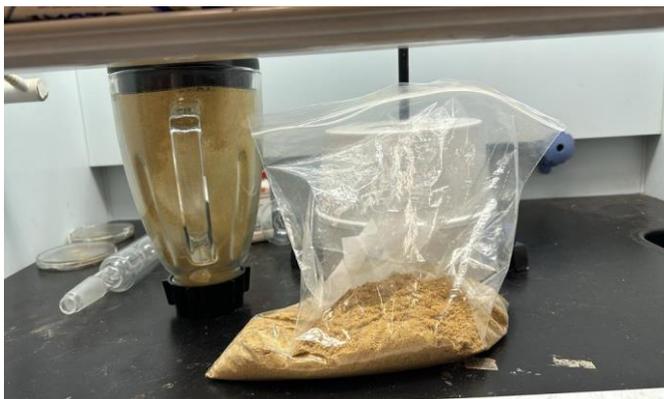
Apéndice R. Flujo de dinero del proyecto con proyección de 12 años



Apéndice S. Preparación de cáscaras para secado



Apéndice T. Secado de Bandeja y liofilizado



Apéndice U. Preparación de Harinas



Apéndice V. Polifenoles Obtenidos



Apéndice W. Aceite Esencial Obtenido



Apéndice X. Pectina Obtenida.