

+

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Evaluación del uso del pedúnculo del banano como materia prima para la
obtención de polifenoles

INGE-2256

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Alimentos

Presentado por:

Kevin Tyron Cortez Tejada

Melany Michelle Paguay Méndez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres y a mis hermanos que siempre estuvieron ahí para brindarme todo el apoyo que necesitaba, a mi familia que fueron los que siempre estuvieron velando por mi bienestar, a mis sobrinas, amigos y a Melany Paguay quien me ha brindado todo su apoyo y siempre ha estado para mí incondicionalmente.

Kevin Cortez

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios por ser mi guía en este camino de aprendizaje, a mis padres, hermana y sobrino por siempre brindarme apoyo, motivación y consejos a lo largo de mi vida; a mis tíos y abuelito por aconsejarme cada vez que lo necesito, finalmente a Kevin Cortez por ser mi compañero y soporte en esta etapa, y por siempre estar ahí para mí.

Melany Paguay

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar esta etapa en nuestras vidas, a nuestros docentes que nos han guiado en nuestro proceso de aprendizaje y principalmente a nuestro tutor Dr. Cesar Moreira quien nos brindó todo el apoyo necesario en nuestro proyecto y nos dio una guía en cada momento que necesitamos.

Kevin Cortez y Melany Paguay

Declaración Expresa

Nosotros Kevin Tyron Cortez Tejada y Melany Michelle Paguay Méndez 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, 2 de febrero del 2024.

Kevin Cortez T

Kevin Tyron Cortez
Tejada



Melany Michelle Paguay
Méndez

Evaluadores

PhD. Tania Guzmán Armenteros

Profesor de Materia

PhD. Cesar Moreira Valenzuela

Tutor de proyecto

Resumen

La agroindustria bananera en Ecuador, vital en el sector comercial, genera residuos como el pedúnculo de banano, que debe desalojarse generando gastos en su movilización y contaminación ambiental. Este estudio busca proponer un método de extracción de polifenoles del pedúnculo para su implementación en empacadoras.

En un diseño de experimentos, se evaluaron factores como el tipo de secado, método de extracción y concentración de solvente. A través del análisis ANOVA, se determinó el mejor proceso. El rendimiento del proceso fue evaluado y se propuso un diseño piloto, con el costo asociado calculado.

Se determinó que la mejor extracción se realiza con ultrasonido y 90% de etanol, mientras que el método de secado no es significativo. El rendimiento por gramo de harina de pedúnculo fue del 0.295%, mientras que en base húmeda fue del 0.016% debido a alta humedad. La disposición en U del proceso se identificó como estratégica, con un precio de venta al público de \$1094,18 por kg de extracto.

Con este proceso, las plantas empacadoras podrían recuperar la inversión en 2 año y 2 meses, generando ganancias a partir del tercer mes. Este proyecto se presenta como muy rentable a corto plazo.

Palabras claves: Agroindustria bananera, Diseño piloto, Ultrasonido, Diseño Experimental.

Abstract

The banana agro-industry in Ecuador, crucial in the commercial sector, generates waste such as banana peduncle, which must be disposed of incurring transportation expenses and generates pollution. This study aims to propose an efficient method for extracting polyphenols from the peduncle for implementation in packing plants.

In a design of experiments, factors such as drying type, extraction method, and solvent concentration were evaluated. Through ANOVA analysis, the optimal process was determined. Process yield was assessed, and a pilot design was proposed, with the associated cost calculated.

It was determined that the best extraction is achieved with ultrasound and 90% ethanol, while the drying method is not significant. The yield per gram of peduncle flour was 0.295%, while on a wet basis, it was 0.016%, attributed to high moisture content. The U-shaped arrangement of the process was identified as strategic, with a public selling price of \$1094.18 per-kg of extract.

With this process, packing plants could recover their investment in 2 year and 2 months, generating profits from the third month. This project is presented as highly profitable in the short term.

Keywords: Banana agro-industry, Pilot design, Ultrasound, Experimental design.

Índice general	
Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3. Justificación del problema	4
1.4 Objetivos	5
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	5
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	5
1.5 Marco teórico	6
<i>1.5.1 Generalidades del banano</i>	6
<i>1.5.2 Descripción del pedúnculo de banano</i>	6
<i>1.5.3. Definición de polifenoles</i>	7
<i>1.5.4. Proceso de obtención de polifenoles</i>	7
Capítulo 2	11
2. Metodología	12
2.1 Evaluación del pedúnculo de banano como fuente de polifenoles.	12
<i>2.1.1. Diseño experimental para determinación de óptimas condiciones de extracción.</i>	12
<i>2.1.2. Proceso de extracción de polifenoles.</i>	13
<i>2.1.3. Análisis realizados a muestras.</i>	15
<i>2.1.4. Cálculo de rendimiento del proceso.</i>	17
<i>2.1.5. Diseño de planta de extracción de polifenoles de pedúnculo de banano.</i>	17
<i>2.1.6. Análisis estadísticos.</i>	20
<i>2.1.7. Costos</i>	20
Capítulo 3	22
3. Resultados y Análisis del proyecto	23
3.1 Resultados correspondientes a cuantificación polifenoles totales.	23

3.2 Análisis estadístico	24
3.1.1 Análisis de varianza e interacciones	25
3.1.2 Mejores condiciones del proceso basado en la optimización	30
3.2 Resultado de rendimientos del proceso.	31
3.3 Resultado de diseño de planta de extracción de polifenoles de pedúnculo de banano.	32
3.3.1 Diagrama de flujo	32
3.3.2 Diagrama de recorrido sencillo	33
3.3.3 Tabla de relación de actividades.	34
3.3.4 Determinación de espacios.	35
3.3.5 Distribución de espacios.	36
3.4 Análisis de Costos	36
CAPÍTULO 4	39
4.1 Conclusiones y recomendaciones	40
4.1.1 Conclusiones	40
4.1.2 Recomendaciones	42
Bibliografía	43
Apéndices	45

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

AEBE Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU Organización de las Naciones Unidas

TPC Total Polyphenol Quantification

PVP Precio de Venta al Público

Simbología

g	Gramo
Kg	Kilogramo
mg	Miligramo
μg	Microgramo
pH	Potencial de Hidrógeno
cm	Centímetro
h	Hora
μm	Micrómetro
T	Temperatura
Nm	Nanómetro
l	Litro
ml	Mililitro
μl	Microlitro
Rpm	Revoluciones por minuto
°C	Grados Celsius

Índice de figuras

Figura 2.1	16
Figura 2.2	17
Figura 3.1	24
Figura 3.2	25
Figura 3.3	26
Figura 3.4	28
Figura 3.5	32
Figura 3.6	33
Figura 3.7	37

Índice de tablas

Tabla 2.1	12
Tabla 2.2	14
Tabla 2.3	15
Tabla 2.4	18
Tabla 2.5	19
Tabla 3.1	23
Tabla 3.2	25
Tabla 3.3	29
Tabla 3.4	30
Tabla 3.5	31
Tabla 3.6	31
Tabla 3.7	34
Tabla 3.8	35
Tabla 3.9	36

Capítulo 1

1.1 Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) el banano es uno de los principales productos agrícolas de comercialización a nivel mundial, en el cual América Latina y el Caribe son la región con mayor exportación y a su vez posiciona a Ecuador como el principal exportador a nivel mundial (FAO, 2023).

El banano es el segundo producto de exportación no petrolero que inyecta millones de dólares directos a la economía del país y genera miles de plazas de trabajo en la región (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2022) En lo que va del año con cierre en agosto del 2023, las exportaciones del banano rodean los 250 millones de cajas comparado con agosto del 2022, donde la exportación fue de 234 millones de cajas, lo que indica un incremento del 6.70% (AEBE, 2023).

De la misma manera que se producen grandes cantidades de banano, las plantas empacadoras también producen toneladas de residuos, así como de subproductos. Los subproductos son aquellas partes adicionales que se generan en el proceso del producto principal, pero que no aportan valor a este, ya que son utilizados para elaborar nuevos productos que generan un beneficio económico para la empresa. Por otro lado, los residuos son aquellas partes del producto que no tienen ninguna utilidad, valor o destino, por lo que son desalojados y eliminados. Los residuos derivados de este proceso son el pseudotallo, raíces, cáscaras e incluso los residuos químicos; para evitar desperdiciar estos desechos, varios estudios proponen ciertos usos para el raquis como una fuente de fibra para la producción de materiales generalmente utilizados en la construcción (Chanalata Tumbaco, 2021). Así mismo proponen el desarrollo de biofertilizantes con el fin de aprovechar toda esta biomasa rica en materia orgánica y los componentes presentes en ellos (Chanalata Tumbaco, 2021; Chávez-Estudillo et al., 2017). Por otra parte, los subproductos resultantes de este proceso son las hojas, pedúnculo y el fruto mismo que no clasifica para la venta; estos reciben usos como recipientes de

alimentos artesanales, fibra para la producción de papeles y la alimentación de animales respectivamente, sin embargo, estos usos no son tan representativos debido a que los subproductos se siguen acumulando en las casas empacadoras (Chávez-Estudillo et al., 2017).

La acumulación de los desperdicios que se dan en este tipo de producción genera podredumbre cuando no reciben un uso o tratamiento adecuado (Jiménez - Londoño et al., 2018). Debido a su composición orgánica los desechos son una rica fuente de nutrientes tanto para microorganismos, insectos y plagas (Jiménez - Londoño et al., 2018). Generalmente los finqueros aledaños se llevan gran parte de los residuos para ser utilizados en la alimentación animal, rellenos y compostajes para sus fincas.

1.2 Descripción del problema

Durante todo el proceso productivo del banano se generan diferentes tipos de desechos sólidos, entre los cuales se puede mencionar principalmente a las hojas, pseudotallos y pedúnculos (García Batista et al., 2020). Es importante mencionar que Ecuador al ser el principal país exportador de banano, y por ende poseer un alto volumen de producción de este, también cuenta con una elevada generación de desechos agrícolas (García Batista et al., 2020).

Las casas empacadoras de banano del Ecuador actualmente no cuentan con un correcto manejo o disposición de desechos agrícolas (Pazmiño-Hernandez et al., 2017). El pedúnculo es considerado un desecho que equivale aproximadamente al 13% del peso total del racimo, y que al finalizar la cosecha es desechado, o en su gran mayoría llevado y empleado en plantaciones bananeras como abono debido a su alto contenido nutricional (Pazmiño-Hernandez et al., 2017). Sin embargo, es importante mencionar que a pesar de que estos desechos brinden beneficios al suelo también causan afectaciones al medio ambiente; ya que debido a la velocidad con la que se generan por la alta producción bananera del país tienden a acumularse y descomponerse. Esto causa

contaminación ambiental debido a su huella de carbono que oscila entre 99 y 54 kg CO₂-Eq/Ton de banano de acuerdo con datos tomados de un estudio realizado a una casa empaedora de banano de la ciudad de Quevedo (Calva Gonzales & Zuma Lalangui, 2021; García Batista et al., 2020; Veliz et al., 2022).

En este proyecto se busca reducir los desechos de pedúnculo de banano generados por las casas empacadoras del producto en el Ecuador; ya que, por la alta exportación que poseen, generan un gran volumen de desechos en poco tiempo. Estos desechos no cuentan con un manejo o empleo adecuado post producción dando como resultado afectaciones al ambiente, y altos costos de logística para su desalojo. Junto con el apoyo de un centro de investigación de biotecnología, el cual busca otorgar soluciones a la industria agrícola de sectores como el bananero y cacaoero, se pretende dar una alternativa viable de uso a estos desechos desperdiciados.

1.3. Justificación del problema

El banano es uno de los productos agrícolas más consumidos y comercializados a nivel mundial y nuestro país es uno de los principales comerciantes de esta fruta, ya que es el que más volúmenes del producto mueve en el mercado exterior situándose como el mayor exportador a nivel global referente al banano (FAO, 2023). Esta actividad da como resultado millones de toneladas de producto al año; esto a su vez generan una cantidad significativa de residuos en forma de pedúnculo de banano la cual es proporcional a la producción y al finalizar el proceso quedan en las empacadoras y representan gastos de logística, transportación, mano de obra para el desalojo y su eliminación (García Batista et al., 2020).

El incremento constante en la necesidad de alimentos implica una creciente demanda de producción, innovación y adopción en la industria de métodos más sostenibles y responsables que aprovechen todos los recursos naturales. Por ello, se plantea investigar y desarrollar un método

sostenible alineado al Objetivo 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que se centra en la producción y consumo responsable. Esto con la finalidad de aprovechar el pedúnculo de banano, teniendo en cuenta que este residuo es una fuente considerable de compuestos bioactivos como los polifenoles, que tiene propiedades antimicrobianas, antioxidantes y otras utilidades que son de gran interés para el área de salud y alimentos (Fernandes de Araújo et al., 2021; ONU, 2023). El uso de los pedúnculos de banano para la extracción y producción de polifenoles no solo ayuda a la reducción y acumulación de este residuo en las empacadoras, sino que también genera oportunidades económicas y medio ambientales para la empresa; además, favorece al sector bananero diversificando sus productos e ingresos ya que los polifenoles son de gran interés comercial para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Fernandes de Araújo et al., 2021).

Con el objetivo de abordar este problema, el presente proyecto propone investigar y desarrollar un método eficiente para la extracción de polifenoles provenientes del pedúnculo de banano, examinando la factibilidad económica e impactos beneficiosos que las empresas empacadoras pueden generar.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar el uso de la biomasa residual generadas por las casas empacadoras de banano de exportación, específicamente pedúnculo de banano, mediante la extracción con solventes para la obtención de polifenoles.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar un diseño experimental factorial para la obtención de polifenoles del pedúnculo del banano mediante una extracción por solvente para la determinación de las mejores condiciones del proceso.

2. Determinar los rendimientos del proceso de producción de polifenoles a partir de las mejores condiciones de extracción.
3. Proponer una línea de proceso para la extracción de polifenoles utilizando solventes y la asistencia de ultrasonido, considerando la concentración de polifenoles totales.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Generalidades del banano

Dentro del contexto ecuatoriano, el banano desempeña un papel de vital importancia en términos económicos y culturales. La prevalente especie cultivada, Cavendish, destaca como elemento clave en la industria bananera del país. A pesar de su resistencia a enfermedades, el manejo de los residuos que emite esta actividad comercial representa un desafío significativo. El pedúnculo del banano emerge como un componente subestimado. A menudo pasado por alto, este subproducto captura la atención central en este análisis (eco.business Fund Latinoamérica & el Caribe et al., 2021).

1.5.2 Descripción del pedúnculo de banano

El pedúnculo es uno de los desechos agrícolas que se generan en mayor proporción en la producción de banano, se caracteriza por ser un tallo largo, cilíndrico, y fibroso con alto contenido de humedad (Pazmiño-Hernandez et al., 2019). Entre sus funciones se destaca el transporte de los nutrientes y agua desde el pseudotallo hacia el fruto, da soporte a la inflorescencia y une a los frutos individuales (Pazmiño-Hernandez et al., 2019). Es muy susceptible a la parasitosis y su tiempo de vida puede variar de 7 a 14 días dependiendo de su conservación (Pazmiño-Hernandez et al., 2019).

1.5.2.1 Composición de pedúnculo de banano. Esta biomasa residual posee un alto contenido de humedad que varía aproximadamente entre 96% - 91%, y con un porcentaje de materia seca que puede ir desde 4% hasta 6%, en lo que respecta al contenido de ceniza varía entre 11%-

29%. Por otra parte, se caracteriza por tener una matriz compuesta por hemicelulosa- lignina- celulosa, siendo la de mayor presencia la celulosa con un rango de 35%-37%, seguida por la hemicelulosa con un porcentaje de 14%-20% y finalmente la lignina con un porcentaje de 4.7% - 7.9% (Awedem Wobiwo et al., 2017). Adicionalmente, es importante destacar que este desecho posee en su composición compuestos bioactivos como alcaloides, polifenoles, y flavonoides.

1.5.2.2 Obtención del pedúnculo de banano. La cosecha se da en paralelo a la producción de banano convencional, este se obtiene luego de que el racimo se le separa de los manos o gajos frutales y la flor quedando solo el tallo del racimo.

1.5.3. Definición de polifenoles

Los polifenoles son conocidos como metabolitos secundarios de gran interés comercial, cuentan con una estructura aromática con varios grupos fenol presentes en su estructura (Volf & Popa, 2018). Estos compuestos bioactivos se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas llamando la atención de investigadores sobre residuos agrícolas, e industriales por sus diversas propiedades como antioxidantes, colorantes naturales, actividad antifúngica y antibacteriana (Volf & Popa, 2018).

1.5.3.1. Polifenoles en el pedúnculo de banano. Para el caso del pedúnculo de banano entre los compuestos fenólicos y flavonoides que forman parte de este, se puede mencionar al ácido gálico, catequinas, ácidos clorogénicos, ácido cafeico, rutina, ácido elágico, quercetina y kaempferol, siendo este último el de mayor presencia (El-Desouky et al., 2021).

1.5.4. Proceso de obtención de polifenoles

Es importante que previo a la extracción de los polifenoles se le realice un pretratamiento de secado a la muestra a utilizar, ya que gracias a la eliminación de humedad se puede evitar el pronto deterioro de la muestra y la degradación de compuestos fenólicos debido a la acción de enzimas;

entre las diferentes alternativas de secado se puede mencionar principalmente el secado al sol, secado por aire, microondas, liofilizado e infrarrojo (Ross Watson, 2019).

1.5.4.1. Secado. Es una operación unitaria clave en la industria alimentaria, tiene como objetivo primordial la eliminación del agua en alimentos sólidos y líquidos, buscando inhibir el crecimiento de microorganismos, y así prolongar el tiempo de vida útil del producto sin comprometer su integridad (Calín-Sánchez et al., 2020; Oyinloye & Yoon, 2020). Durante el secado térmico, la transferencia de energía y la evaporación de la humedad libre son esenciales (Calín-Sánchez et al., 2020). Este método, especialmente eficaz para frutas, verduras y hierbas, no solo reduce el volumen y peso, evitando la evolución de microorganismos y reacciones químicas (Calín-Sánchez et al., 2020). Desde métodos tradicionales como el secado al sol hasta tecnologías avanzadas como la liofilización, el objetivo es prolongar la vida útil del producto al reducir la actividad del agua y preservar la calidad.

1.5.4.1.1 Secado por aire caliente. Los métodos que utilizan aire caliente para secar alimentos, como en cámaras o túneles de secado, secadores de tambor giratorio o secadores de lecho fluidizado, son altamente versátiles y de gran importancia (Guiné, 2018). Aunque el secado con aire caliente sigue siendo ampliamente utilizado como método de conservación de alimentos, presenta desafíos para la calidad final del producto (Guiné, 2018). Este enfoque, es considerado altamente destructivo, causa decoloración y pérdida de nutrientes, siendo especialmente problemáticos para alimentos térmicamente sensibles como frutas y verduras. Además, el secado con aire caliente suele ser un proceso de conservación de alimentos, prolongado y energéticamente costoso.

1.5.4.1.2 Secado por Liofilización. La liofilización al vacío es un proceso donde el agua pasa por un estado de sublimación. Este método se destaca por su capacidad para preservar la estructura sólida y la textura suave de los alimentos secos, siendo especialmente útil para productos costosos y delicados desde el punto de vista nutricional (Oyinloye & Yoon, 2020). Las propiedades térmicas de

los alimentos influyen en la transferencia de calor durante la liofilización, siendo cruciales para el diseño de equipos y la estimación de tiempos de proceso (Oyinloye & Yoon, 2020).

1.5.4.2. Extracción. Los métodos comúnmente utilizados para la extracción de polifenoles son los de relación sólidos-liquido donde la muestra es la sólida y el solvente de extracción es la parte líquida, de manera general los más usados son el método de maceración y el Soxhlet que utilizan solventes polares los cuales son muy accesibles y son afines a los polifenoles (Antony & Farid, 2022; Ross Watson, 2019). Para la extracción se utiliza compuestos como el etanol, metanol, hexano y el acetato de etilo donde la relación con el sólido más común es 10 a 1 y 20 a 1 considerando que la temperatura no debe ser mayor a 70°C para evitar la descomposición de los polifenoles ya que estos son considerados termosensibles (Antony & Farid, 2022; Ross Watson, 2019). Los puntos negativos de estos métodos es que hay un alto consumo de energía, pérdida de solvente, degradación térmica y no es selectiva por lo que puede arrastrar otros compuestos (Ross Watson, 2019).

1.5.4.2.1. Extracción por ultrasonido. Este método es uno de los recientes y es ampliamente utilizado debido a las múltiples ventajas que trae consigo como un mejor rendimiento del compuesto extraído el cual se establece hasta en un 20% adicional en relación con métodos tradicionales (Ross Watson, 2019). Esta extracción consiste en la compresión y descompresión debido a la formación de burbujas en el medio líquido, donde las burbujas explotan debido a que la tensión superficial no alcanza a contenerlas porque han alcanzado un tamaño muy grande lo que genera fuerzas de corte que alcanzan las paredes celulares de la muestra vegetal dejando libre a estos compuestos (Ross Watson, 2019).

1.5.4.2.2. Cuantificación de polifenoles. La técnica para cuantificación de polifenoles más utilizadas es la de Folin. Esta técnica es una metodología empleada en muestras biológicas y alimentos. Este método se basa en la capacidad que poseen los polifenoles para reducir el reactivo

de Folin-Ciocalteu, que consiste en una mezcla de fosfomolibdato y fosfovanadato. En presencia de polifenoles, el reactivo de Folin se reduce a un estado coloreado, produciendo un complejo azul intenso. La intensidad de este color está directamente relacionada con la concentración de polifenoles presentes en la muestra. La técnica de Folin es particularmente sensible a compuestos fenólicos con estructuras de anillo, como los flavonoides y los ácidos fenólicos. Este método ha demostrado ser útil para cuantificar la cantidad total de polifenoles en diversos materiales biológicos, brindando una evaluación rápida y confiable de la capacidad antioxidante de una muestra. Aunque la técnica de Folin es ampliamente aceptada, es esencial tener en cuenta que la especificidad del reactivo puede variar, afectando la cuantificación de polifenoles específicos en función de su estructura química.

Capítulo 2

2. Metodología

Se sometió el pedúnculo de banano a diversos métodos y condiciones. Donde, se evaluaron los rendimientos de cada una de las etapas del proceso, midiéndose la humedad de secado y granulometría de harina para garantizar la calidad y estandarización del proceso y producto. Se compararon los mejores resultados del TPC del diseño experimental. Finalmente, con los mejores resultados se diseñó una línea de proceso y lay-out a escala piloto para la extracción de polifenoles.

2.1 Evaluación del pedúnculo de banano como fuente de polifenoles.

2.1.1. Diseño experimental para determinación de óptimas condiciones de extracción.

El diseño experimental elaborado (tabla 2.1), consistió en un arreglo factorial 2×3^2 con 18 tratamientos con triplicados, en total dieron como resultado 56 corridas. Los factores analizados fueron 3: el método de secado, tipo de extracción y finalmente la concentración empleada de etanol (solvente).

Para el primer factor se manejaron dos niveles, deshidratación y liofilización; para el segundo factor de método de extracción se evaluó la maceración a temperatura ambiente, la maceración con agitación y alta temperatura, y el método de ultrasonido. Finalmente, para el tercer factor se manejaron 3 concentraciones diferentes de etanol 60%, 75% y 90%.

Tabla 2.1

Diseño experimental con sus respectivos factores y niveles.

Tipo de secado	Tipo de extracción	Concentración de solvente
Deshidratación	Maceración Temperatura ambiente (MT)	60%
		75%
		90%
	Maceración con agitación y alta Temperatura (MAT)	60%
		75%
		90%
	Ultrasonido (UT)	60%
		75%

		90%
		60%
	Maceración Temperatura ambiente (MT)	75%
		90%
		60%
Liofilización	Maceración con agitación y alta Temperatura (MAT)	75%
		90%
		60%
	Ultrasonido (UT)	75%
		90%

Nota. Elaboración propia.

Como variable respuesta del diseño experimental se estableció la concentración de polifenoles presentes en las muestras extraídas, para determinar las mejores condiciones de extracción. Los resultados del TPC de las diferentes muestras se compararon para seleccionar la más eficiente. El método utilizado para el TPC es el de Folin-Ciocalteu, en la sección 2.1.3.3. se detalla el protocolo aplicado.

2.1.2. Proceso de extracción de polifenoles.

La extracción de polifenoles provenientes del pedúnculo de banano se realizó mediante un pretratamiento de secado a las muestras frescas, como paso siguiente se obtuvo harina a través de molienda y tamizado hasta alcanzar un tamaño de partícula determinado. Luego se sometieron a las muestras a los diferentes métodos de extracción mencionados en el diseño experimental a las diferentes concentraciones. Tras la recuperación del solvente, se realizó la cuantificación de polifenoles. Es importante mencionar que al inicio y fin de cada una de las etapas las muestras fueron pesadas para calcular el rendimiento de estas. El procedimiento utilizado para el pedúnculo de banano se tomó y adaptó del estudio de Díaz et al. (2021). Las etapas del proceso se detallan en las siguientes secciones.

2.1.2.1. Materia prima. El pedúnculo de banano de la especie Cavendish, utilizado para exportación, fue la materia prima utilizada. Proviene de empacadoras de banano pertenecientes al

cantón Milagro de la provincia del Guayas a la altura del Recinto Las pilas. El pedúnculo era fresco y se usó en la primera semana posterior a la cosecha del racimo. El solvente utilizado, etanol, y agua destilada, se obtuvieron de laboratorio Cevallos. La concentración del etanol fue del 97%.

2.1.2.2. Elaboración de harina de pedúnculo. El pedúnculo de banano fresco se trozó en cubos de dimensiones de 0.5 cm. Luego se colocaron estas muestras frescas en bandejas extendidas formando una capa fina para optimizar el secado. Según el tipo de secado se establecieron las condiciones del tratamiento (tabla 2.2).

Tabla 2.2

Condiciones establecidas para secado de pedúnculo de banano

Tipo de secado	Condiciones establecidas
Deshidratación	Temperatura: 50°C; tiempo de secado: 12h
Liofilización	Temperatura: -18°C; tiempo de secado: 24h

Nota. Elaboración propia.

Para el secado por convección se colocaron las muestras en un horno de convección mecánico, thermo Fisher del modelo “Freas 645”, durante 12h a 50°C. Para el secado por sublimación se colocaron las muestras en un liofilizador artesanal de ESPOL, durante 24h a -18°C.

Al finalizar la etapa de secado las muestras fueron molidas con ayuda de un molino eléctrico hasta alcanzar un tamaño de partícula mayor a 300 μm y menor a 600 μm . Entre molienda se tamizaba la harina para almacenar aquella con tamaño de partícula requerido. La harina fue almacenada en fundas ziplock en envases al vacío.

2.1.2.3. Etapa de extracción. Según el diseño experimental, se utilizaron 3 métodos de extracción sólido-líquido, maceración a temperatura ambiente, extracción con agitación y elevada temperatura; y, finalmente, ultrasonido. Adicionalmente, cada una de las extracciones se realizó a 3 diferentes concentraciones de etanol por triplicado (tabla 2.3). La proporción utilizada fue de peso/volumen de 1 en 20.

Tabla 2.3*Condiciones de extracción para cada método*

Tipo de extracción	Condiciones de extracción	Equipo utilizado
Maceración Ta.	T: temperatura ambiente; t:15 min	Ninguno
Maceración alta T.	T: 78°C; t: 15 min, v: 150rpm	Agitador orbital térmico
Ultrasonido	T: 78°C; t: 15 min	Baño de ultrasonido

Nota. Elaboración propia.

Después de la extracción, se realizó un filtrado de las muestras para separar la parte sólida de la líquida con un papel filtro fino. El extracto fue almacenado en envases de color ámbar de vidrio y en refrigeración a 2°C; mientras que el residuo sólido fue almacenado en congelación para análisis posteriores.

El extracto se concentró usando un rotavapor “BUCHI” modelo SHKE4450, para el secado de la muestra. El equipo trabajó a una temperatura de 45°C, velocidad de 10rpm y vacío de 39 mbar, de acuerdo con recomendaciones de la librería del equipo para recuperación de agua. El extracto ya concentrado se usó para cuantificación de polifenoles (sección 2.1.3.3.).

2.1.3. Análisis realizados a muestras.

2.1.3.1. Análisis de humedad. El equipo utilizado para esta medición fue una termobalanza Sartorius MA37. Al pedúnculo fresco se le midió la humedad inicial, previo al secado. También se midió la humedad posterior a la etapa de secado para determinar la cantidad agua removida del pedúnculo. Para la medición de humedad se utilizó 5 gramos de muestra triturados lo máximo posible.

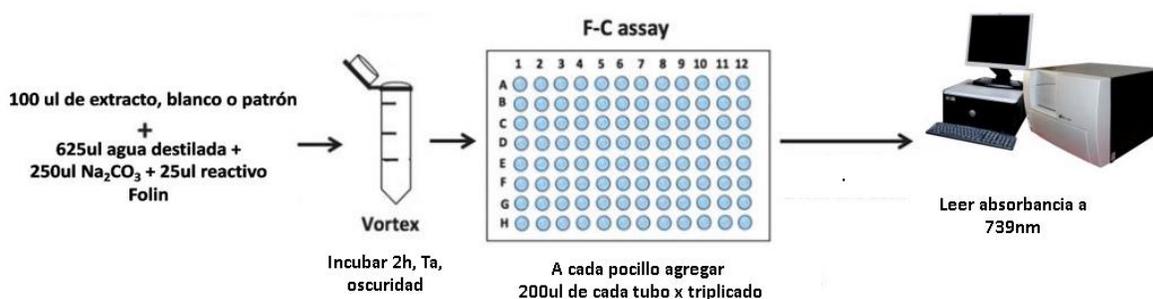
2.1.3.2. Granulometría. Posterior a la etapa de molienda se evaluó la granulometría de las muestras en un tamizador Cole Palmer, se utilizaron 7 tamices de diferentes medidas de 2 mm, 600um, 300um, 212um, 150um, 75um y una base. Las muestras se tamizaron durante 3 min y luego pesadas con el fin de determinar el rendimiento de la etapa de molienda y tamizado.

2.1.3.3. Cuantificación de polifenoles. La cuantificación de polifenoles totales (TPC) se realizó a partir de la técnica de Folin-Ciocalteu tomando como referencia CSIC (2023). La curva patrón se realizó a partir de una solución madre de nuestra muestra patrón (ácido gálico) con concentración de 450 ($\mu\text{g/ml}$), como paso siguiente fue diluida en tubos de ensayo 8 veces en diferentes concentraciones de un rango entre 0 ($\mu\text{g/ml}$) y 112.5 ($\mu\text{g/ml}$). Por otra parte, las muestras extraídas a analizar fueron diluidas 1 vez a una proporción de 1 en 100.

Posterior a la preparación de muestras de extracto y de curva patrón se procedió a aplicar la técnica de Folin-Ciocalteu (figura 2.1). Se tomó 100 μl de extracto, patrón o blanco y se le añadió agua destilada, carbonato de sodio al 7.5% y reactivo de Folin, se lo incubó por 2h a temperatura ambiente y oscuridad; se agregó a la microplaca las muestras colocándolas por triplicado para mayor confiabilidad en los datos. Se analizó la absorbancia en un espectrofotómetro a 739nm.

Figura 2.1

Procedimiento de Folin empleado



Nota. *Elaboración propia.*

Los resultados de absorbancia del patrón (ácido gálico) fueron graficados para obtener la ecuación de la recta (ecuación 2.1.), dónde “y” correspondió a la absorbancia a 739nm, “x” representó los mg AG/ml de muestra, “b” fue el intercepto y “m” la pendiente.

$$y=mx+b$$

2.1

Esta ecuación fue utilizada para calcular la concentración de polifenoles totales presentes en las muestras extraídas expresadas en mg AGE/g de ms.

2.1.4. Cálculo de rendimiento del proceso.

Para el cálculo del rendimiento del proceso se dividió el proceso en dos subprocesos. El primer subproceso correspondió a la obtención de harina, y el segundo subproceso correspondió a la extracción de polifenoles a partir de la harina de pedúnculo. Se calculó el rendimiento de cada uno de los subprocesos, a través de un balance de materia (ecuación 2.2), donde se tomó el peso de entrada y salida del producto. Se dividió el peso de salida para el peso de entrada y multiplicándolo para 100.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad del producto final}}{\text{Cantidad del producto inicial}} \times 100 \quad 2.2$$

2.1.5. Diseño de planta de extracción de polifenoles de pedúnculo de banano.

2.1.5.1. Diagrama de flujo. Se realizó considerando cada una de las etapas que sirvieron para la obtención del extracto polifenólico, estableciendo condiciones específicas basado en los tratamientos que generaron un mejor rendimiento. Se identificaron los ingresos y salidas de cada etapa del proceso.

2.1.5.2. Diagrama de recorrido sencillo. Se realizó a partir del diagrama de flujo previamente elaborado en la sección 2.1.5.1, tomándose en consideración el tipo de actividad realizada en cada una de las etapas. Las etapas se clasificaron de acuerdo con la simbología correspondiente (figura 2.2). Es importante mencionar que una misma etapa puede pertenecer a diferentes tipos de actividades.

Figura 2.2

Simbología utilizada para clasificación de actividades.

Símbolos y acción en los diagramas de flujo*	
	Operación
	Almacenamiento
	Transporte
	Inspección
	Espera

Nota. Casp Vanaclocha (2005)

2.1.5.3. Tabla de relación de actividades (TRA) Se realizó una TRA para determinar la importancia de la cercanía entre actividades que intervienen en el proceso. Las actividades fueron organizadas por áreas y se les asignó una codificación de acuerdo con la necesidad de proximidad, se utilizó una valoración de proximidad (tabla 2.4) y el motivo de valoración asignada (tabla 2.5).

Tabla 2.4

Escala para valoración TRA

Código	Relación	Color asignado
A	Absolutamente necesaria	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinaria	Azul
U	Sin importancia	Blanco o negro
X	Rechazable	Marrón

Nota. Casp Vanaclocha (2005)

Tabla 2.5*Motivo de Proximidad*

	Motivo
Proximidad del proceso	1
Higiene	2
Control	3
Frio	4
Malos olores, ruidos...	5
Seguridad del producto	6
Utilización de material común	7
Accesibilidad	8

Nota. Casp Vanaclocha (2005)

2.1.5.4. Determinación de espacios. El área necesaria para la planta piloto y sus diferentes actividades se determinó considerando la superficie estática (S_s), gravitacional (S_g), y de evolución (S_e). La superficie estática correspondió al espacio ocupado por los equipos, instalaciones, etc. La superficie gravitacional fue el espacio ocupado por los operarios alrededor de los equipos (ecuación 2.3). Siendo S_s equivalente a superficie estática y N equivalente a el número de lados ocupados del equipo.

$$S_g = S_s * N; \quad (2.3)$$

Finalmente, la superficie de evolución (S_e) fue el espacio considerado para que los operarios se puedan desplazar (ecuación 2.4). Siendo K un coeficiente de holgura de entre 0,05 -3.

$$S_e = (S_s + S_g) * K; \quad (2.4)$$

El espacio total necesario fue calculado a través de la suma de las superficies estáticas S_s , gravitacionales S_g , y de evolución S_e (ecuación 2.5).

$$ST = S_s + S_g + S_e \quad (2.5)$$

2.1.5.5. Distribución de la planta. Se lo realizó con ayuda del programa CORELAP, se tomó en consideración el TRA realizado en la sección 2.1.5.3., el diagrama del proceso y la determinación de espacios de la sección 2.1.5.4. Del programa se obtuvo un posible lay-out de la planta. Posterior a esto se utilizó el programa Lucid Chart para el diseño del Lay-out final de la planta.

2.1.6. Análisis estadísticos.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante Diseño factorial completo general ANOVA con el fin de evaluar y determinar las diferencias significativas entre de los resultados de los grupos de muestras donde también se toma en consideración el de valor P de los factores individuales y de sus interacciones; siendo significativos aquellos valores $p < 0.05$. Adicionalmente se analizó y comparó las medias de los datos. Se utilizó el software Minitab versión prueba (Muñoz et al., 2017).

2.1.7. Costos

El cálculo de los costos se realizó en base a la capacidad de producción diaria de pedúnculo de una empacadora de banano promedio en base a indagación de campo, a partir de ese valor se calculó la producción mensual y anual basados en los días laborables de cada mes sin contar feriados ni fines de semana.

Se calculo el costo de operación como de implementación de la planta de extracción de polifenoles, considerando el costo de la materia prima, equipos semi industriales, mano de obra directa e indirecta, servicios básicos, infraestructura, mantenimiento y otros valores necesarios para poner a operar la planta a escala piloto.

Se determino el precio de venta al público (PVP) a partir del costo unitario más un porcentaje de utilidad del 40%. Se hizo una proyección a 5 años de operación y se determinó el año en que generan ganancias a partir de los valores acumulados del flujo de caja.

Capítulo 3

3. Resultados y Análisis del proyecto

3.1 Resultados correspondientes a cuantificación polifenoles totales.

El pedúnculo de banano se transformó en harina y luego se sometió a diferentes tratamientos de extracción y concentración de solvente (sección 2.1.2.). Se obtuvieron concentraciones de polifenoles de entre 1,12 y 2,95 mg de AG/g de muestra seca, los resultados más altos corresponden a tratamientos de secado por bandeja, ultrasonido (UT) y con etanol al 90%, seguido del tratamiento con secado por liofilizador, extracción con agitación (MAT) y 60% de etanol, siendo de 2,95 y 2,91 mg de AG/g de muestra seca, respectivamente (tabla 3.1 y 3.1).

Tabla 3.1

Condiciones de extracción para cada método

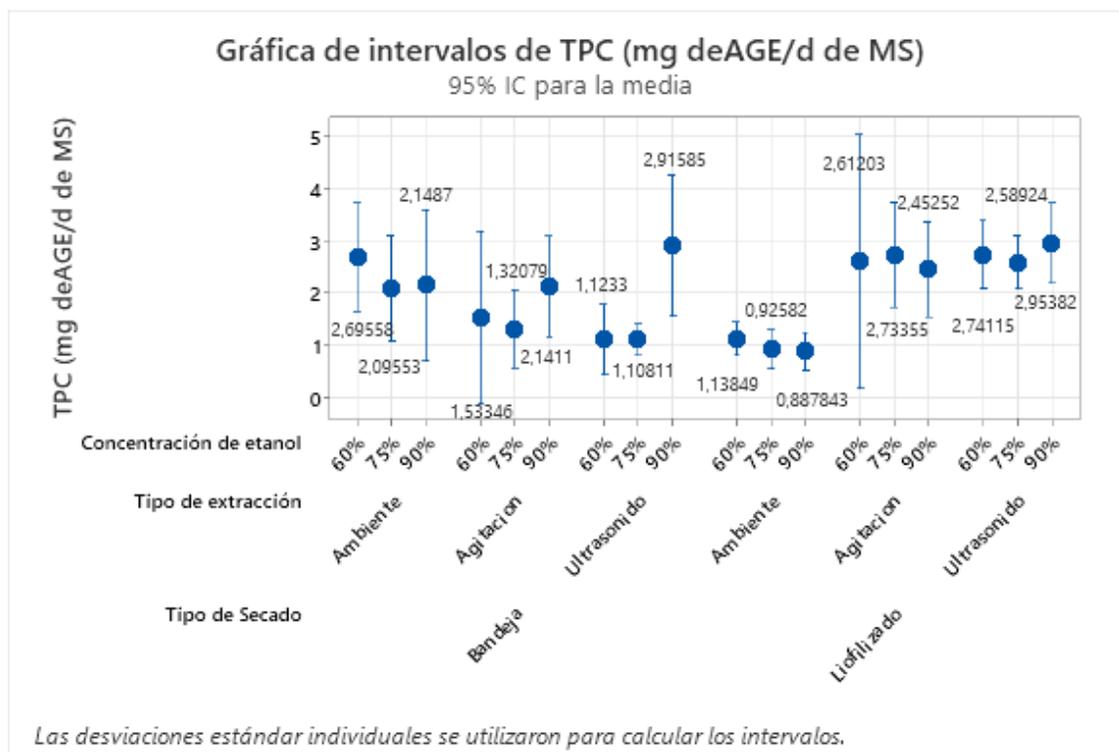
Tipo de secado	Tipo de extracción	Concentración de solvente	mg de AG/ g de muestra seca	Desviación estándar
Deshidratación	(MT)	60%	2,695577	0,006
		75%	2,09553068	0,007
		90%	2,14869934	0,008
	(MAT)	60%	1,53346198	0,009
		75%	1,32078734	0,005
		90%	2,14110382	0,005
	(UT)	60%	1,12330374	0,004
		75%	1,1081127	0,002
		90%	2,91584716	0,007
Liofilización	(MT)	60%	1,13849479	0,002
		75%	0,92582015	0,002
		90%	0,88784253	0,003
	(MAT)	60%	2,61202624	0,013
		75%	2,73355461	0,006
		90%	2,45252026	0,073
	(UT)	60%	2,74115014	0,004
		75%	2,58923968	0,003
		90%	2,95382478	0,004

Nota. Elaboración Propia.

3.2 Análisis estadístico

Figura 3.1

Gráfica de intervalos de TPC.



Nota. Minitab 2023 versión prueba.

Los resultados obtenidos fueron bajos comparados con el estudio de (Díaz et al., 2023). El contenido de polifenoles en el banano se puede ver afectado por diversos factores como la zona geográfica de la cual proviene, la estación del año en la cual se realiza la cosecha, e incluso por factores climáticos, y si el suelo del cultivo es orgánico o no, ya que de acuerdo con estudios realizados por Bruno Bonnet et al. (2013) y Giuggioli et al. (2020) la cosecha en épocas secas implica un mayor contenido de polifenoles; además, demuestran que el país de donde provengan también afecta la cantidad de polifenoles presentes en el mismo, para el estudio de Díaz et al. (2023) utilizaron muestras provenientes de España.

3.1.1 Análisis de varianza e interacciones

Tabla 3.2

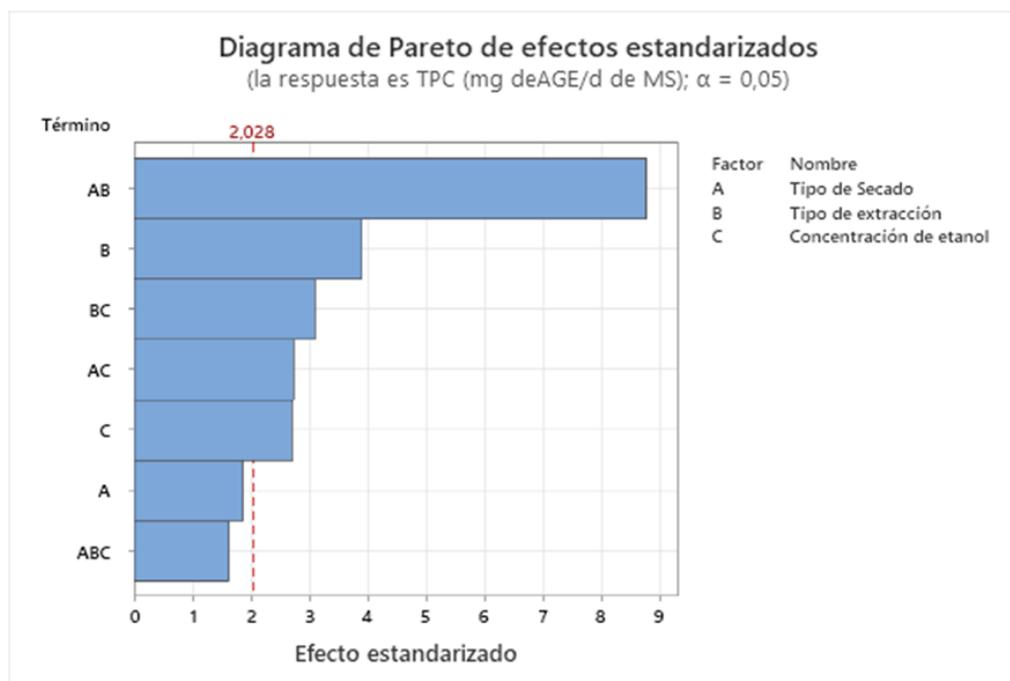
Análisis de varianza

Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	9,41	0,000
Lineal	6,71	0,000
Tipo de Secado	3,50	0,069
Tipo de extracción	9,81	0,000
Concentración de etanol	5,20	0,010
Interacciones de 2 términos	14,80	0,000
Tipo de Secado*Tipo de extracción	44,57	0,000
Tipo de Secado*Concentración de etanol	5,28	0,010
Tipo de extracción*Concentración de etanol	4,68	0,004
Interacciones de 3 términos	2,02	0,113
Tipo de Secado*Tipo de extracción*Concentración de etanol	2,02	0,113

Nota. Minitab 2023 versión prueba.

Figura 3.4

Diagrama de Pareto.



Nota. Minitab 2023 versión prueba.

El análisis ANOVA permitió identificar los factores e interacciones que influyeron significativamente en el contenido de polifenoles en el proceso de su obtención.

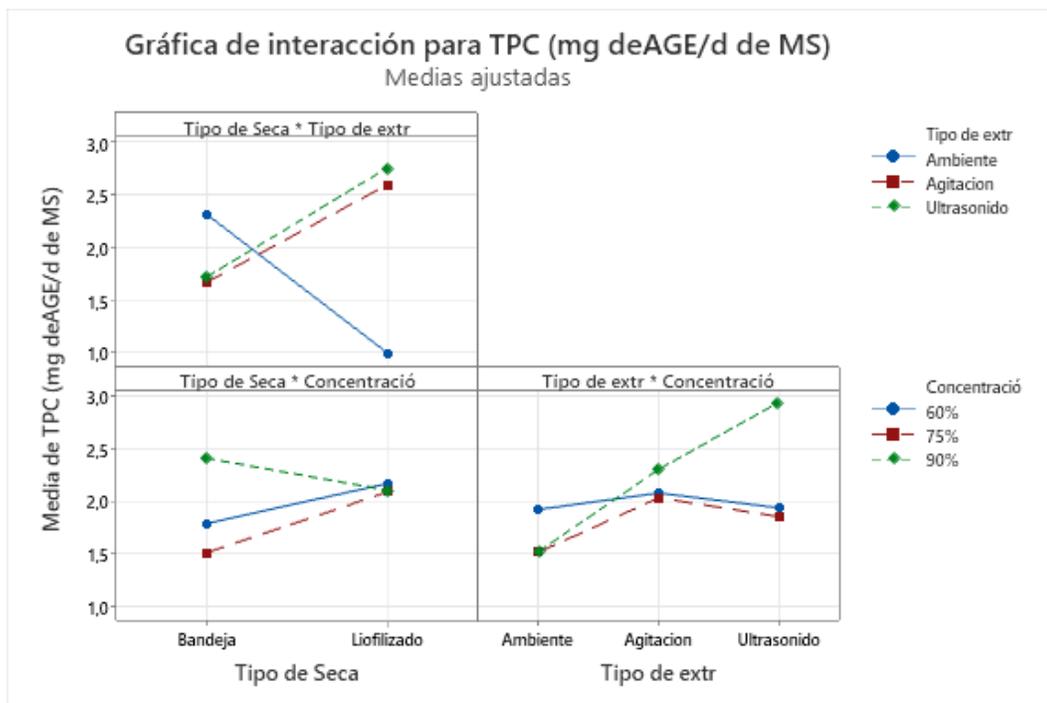
Se observó que individualmente el tipo de extracción y la concentración de etanol utilizado tienen un efecto significativo en el resultado. Por lo tanto, variaciones en estos factores implicará cambios en la obtención de polifenoles.

Por otro lado, las modificaciones del factor tipo de secado individualmente no representó alteraciones significativas sobre los resultados, ya que posee un valor p mayor a 0,05. Sin embargo, la interacción de este factor tipo de secado con tipo de extracción (tabla 3.2) al tener el valor p más bajo de 0,0000, implicó que su impacto sobre los resultados sea el más influyente, lo que se tradujo en una variación de polifenoles más significativa. El diagrama de Pareto (figura 3.2) valida la importancia de esta interacción, con un efecto estandarizado mucho mayor para esta interacción. Seguida de esta interacción, que tiene gran influencia es el tipo de extracción con un valor p de 0.0004 lo que su alteración contribuirá a cambios muy notables.

De la misma forma, la interacción entre el tipo de secado con la concentración de solvente empleado, y los factores tipo de extracción con la concentración de etanol tienen un efecto significativo en el contenido de polifenoles. Esto muestra que la relación que existe entre los factores evaluados y los resultados de TPC es estrecha.

Figura 3.5

Gráfica de interacción para TPC



Nota. Minitab 2023 versión prueba.

El comportamiento que presentaron las interacciones entre los diferentes factores con respecto a la cantidad de polifenoles extraídos varió dependiendo del caso (figura 3.3). La interacción más significativa de tipo de secado-tipo de extracción presentó valores más altos de polifenoles, cuando se utilizó como método de secado la liofilización combinada con una extracción de ultrasonido o agitación a altas temperaturas, siendo el más destacado el método con ultrasonido. Sin embargo, para la extracción a temperatura ambiente, la liofilización generó un efecto negativo en la concentración final de polifenoles, reduciéndola drásticamente. En cuanto al secado por bandeja, el comportamiento se opuso al descrito en liofilización. Es importante destacar que, los mejores resultados a nivel global se obtuvieron con secado por liofilización con ultrasonido seguido por agitación.

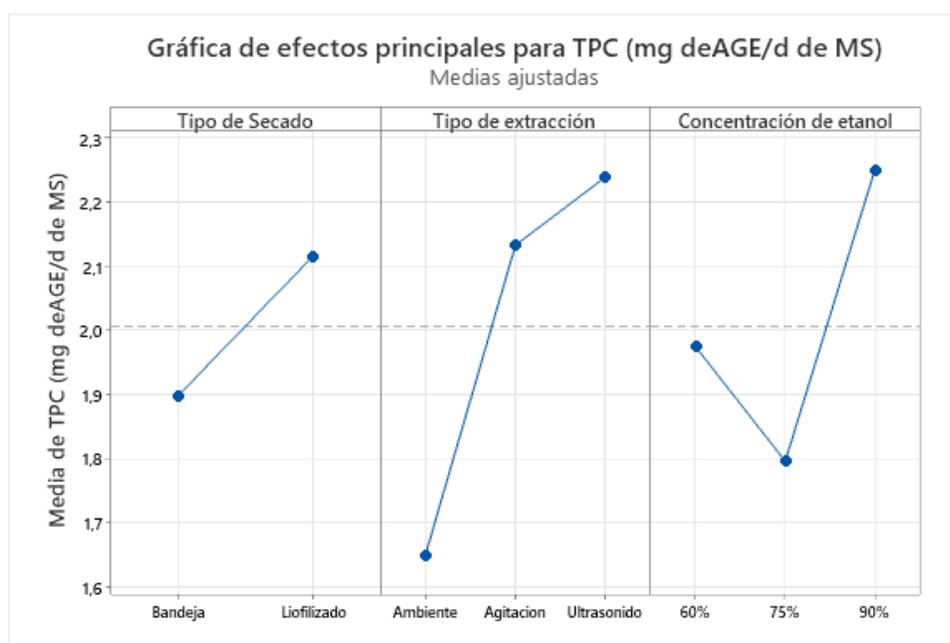
La siguiente interacción con mayor significancia fue el tipo de extracción-concentración de etanol. La extracción de temperatura ambiente con concentraciones de etanol del 75% y 60%

mostraron un comportamiento similar de aproximadamente 1,5 mg de AG/g de ms, mientras que en la de 90% predominaron más polifenoles alcanzando valores aproximados de 2 mg de AG/g de ms. Por otra parte, en la extracción con agitación, se alcanzó mayor contenido de polifenoles con etanol al 90%; mientras que las muestras con 75% y 60% de etanol alcanzaron valores similares entre sí. Finalmente, la extracción con ultrasonido y 90% de etanol alcanzó la mayor presencia de polifenoles en esta interacción siendo cercanos a 3 mg de AG/g ms, mientras que las concentraciones de 60% y 75% tan solo alcanzaron valores próximos a 2 mg de AG/g ms.

Finalmente, en la interacción tipo de secado-concentración etanol, existió un efecto negativo con etanol al 75% y secado de bandeja alcanzando un valor de 1,5 mg de AG/g ms aproximadamente, mientras que la extracción con etanol al 90% se vió favorecido por el secado de bandejas. Es importante mencionar que para el caso del secado por liofilización las muestras con las 3 concentraciones de etanol mostraron un comportamiento similar alcanzando valores de polifenoles cercanos a 2,2 mg de AG/g ms.

Figura 3.6

Gráfica de efectos principales para TPC.



Nota. Minitab 2023 versión prueba.

En el gráfico de efectos principales (Figura 3.4) mostro que el liofilizado es el que mayor tiene un aporte de polifenoles en el tipo de secado, seguido de esto, la extracción por ultrasonido tiene un aporte mucho más significativo que los otros dos tipos de extracción, mientras que el tipo de concentración que presenta mayores contenidos sobre las medias de polifenoles es 90, por lo que una extracción mediante a ultrasonido a 90% de etanol es muy prometedora.

De acuerdo con los resultados obtenidos las mejores concentraciones de polifenoles se ven reflejadas cuando el secado se realiza a través de liofilización, esto concuerda con datos observados en la bibliografía donde afirman que el secado por sublimación contribuye a la conservación de polifenoles, ya que los métodos con aire caliente contribuyen a la pérdida de polifenoles y preservan menos la microestructura de la matriz (Gil-Martín et al., 2022; Tan et al., 2020; Valadez-Carmona et al., 2017) En lo que respecta a la extracción por ultrasonido se ha tenido mejores resultados debido a que las ondas sónicas generan burbujas que rompen la matriz celular ofreciendo un mejor acceso a los polifenoles (Gil-Martín et al., 2022). Finalmente, la concentración de solvente de etanol al 90% fue la de mayores resultados ya que la misma al ser de naturaleza polar posee una mayor afinidad con los polifenoles.

Tabla 3.3

Resumen del modelo Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,425824	81,64%	72,96%	58,68%

Nota. Minitab 2023 versión prueba.

El siguiente modelo describe el impacto de los factores categóricos sobre la variable dependiente ósea en la cantidad de polifenoles presentes.

Ecuación de regresión:

Declaración de variables:

- A: Tipo de secado Bandeja*
B: tipo de secado Liofilizado
C: Tipo de extracción Ambiente
D: Tipo de extracción Agitación
E: Tipo de extracción Ultrasonido
F: Concentración de etanol 60%
G: Concentración de etanol 75%
H: Concentración de etanol 90%

Ecuación 3.1:

$$\begin{aligned} \text{TPC (mg de AGE/g de MS)} = & 2,0065 - 0,1084 A + 0,1084 B - 0,3578 C + 0,1257 D + 0,2321 E - \\ & 0,0325 F + 0,2110 G + 0,2435 H + 0,7731 AC - 0,3587 AD - 0,4144 AE - 0,7731 BC + 0,3587 BD + \\ & 0,4144 BE - 0,0814 AF - 0,1789 AG + 0,2604 AH + 0,0814 BF + 0,1789 BG - 0,2604 BH + 0,301 CF \\ & + 0,073 CG - 0,374 CH - 0,027 DF + 0,106 DG - 0,079 DH - 0,274 EF - 0,179 EG + 0,453 EH + \\ & 0,195 ACF + 0,099 ACG - 0,295 ACH + 0,009 ADF - 0,060 ADG + 0,051 ADH - 0,205 AEF - 0,039 \\ & AEG + 0,243 AEH - 0,195 BCF - 0,099 BCG + 0,295 BCH - 0,009 BDF + 0,060 BDG - 0,051 BDH + \\ & 0,205 BEF + 0,039 BEG - 0,243 BEH \end{aligned}$$

El R cuadrado ajustado del modelo es de 72.96 % (tabla 3.3), demostrando que el modelo de regresión obtenido (ecuación 3.1) presenta un ajuste sólido y robusto de los valores experimentales, explicando más de la mitad de los resultados obtenidos además de ser significativos. El modelo es superior a modelos alternativos y tiene una gran capacidad de explicar la variabilidad en la obtención de polifenoles según los factores estudiados.

3.1.2 Mejores condiciones del proceso basado en la optimización

Tabla 3.4

Optimización de respuesta sin restricciones

Solución

Solución	Tipo de secado	Tipo de extracción	Concentración de etanol	TPC (mg de AGE/g de MS) Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	Liofilización	Ultrasonido	90%	2,95382	0,777778

Nota. Minitab 2023 versión prueba.

Tabla 3.5

Optimización de respuesta utilizando bandeja.

Solución

Solución	Tipo de secado	Tipo de extracción	Concentración de etanol	TPC (mg de AGE/g de MS) Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	Bandeja	Ultrasonido	90%	2,91585	0,764550

Nota. Minitab 2023 versión prueba.

La optimización de respuesta general (Tabla 3.4) determinó que la combinación de los niveles secado por liofilización, extracción por ultrasonido y concentración de etanol al 90% presenta la mejor cuantificación de polifenoles. Adicional a esto se realizó una segunda optimización (Tabla 3.5) fijando el secado por bandeja y los niveles de ultrasonido y etanol al 90% se mantuvieron. El TPC ajustado con liofilización da un valor de 2.95 mg de AGE/g de MS mientras que por bandeja se obtuvo un valor de 2.92 mg de AGE/g de MS similar al resultado por liofilización. En conclusión, ultrasonido y 90% de etanol son niveles determinantes para conseguir un buen resultado de polifenoles lo cual concuerda la influencia significativa de la interacción en el análisis antes mencionado, de la interacción del factor extracción con concentración de etanol, pero si se encuentra alguna complejidad en la utilización de liofilización para el secado, utilizar el método de secado por bandeja sería una buena opción ya que obtendría resultados muy similares.

3.2 Resultado de rendimientos del proceso.

Tabla 3.6

Rendimiento del proceso

Rendimiento del proceso: obtención de Harina		
Etapas	Rendimiento proceso con deshidratación	Rendimiento proceso con liofilización
troceado	89%	
Secado	7,30%	6,90%
Molienda y tamizado	86%	
Rendimiento final	5,60%	5.50%
Rendimiento del proceso: Extracción polifenoles		
Etapas	Rendimiento	
Extracción	100%	
Filtrado	89,50%	
Recuperación solvente	89,50%	
Extracto final	0.295%	
Rendimiento general	0.016%	

Nota. Elaboración Propia.

Para la evaluación del rendimiento del proceso se dividió el proceso en 2 subprocesos, obtención de harina y extracción de polifenoles (tabla 3.6). Como resultado para la obtención de harina el rendimiento fue de 5,6% y 5,5 %, el método de secado escogido no significó un cambio drástico en el rendimiento. Para el subproceso de extracción la cantidad de polifenoles extraídos en base seca corresponde al 0.295%.

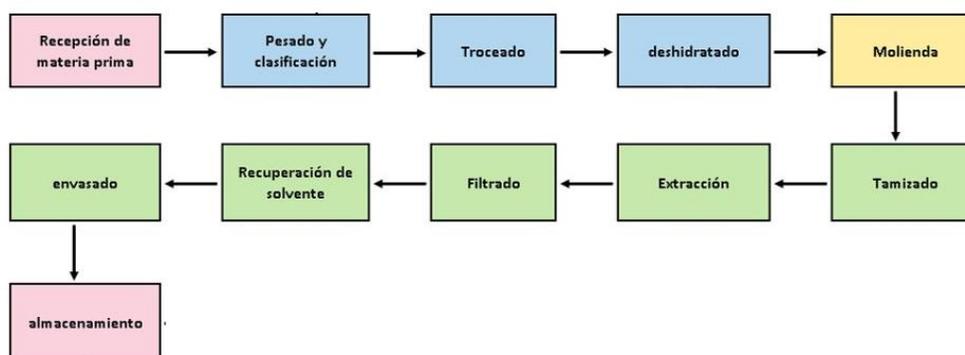
3.3 Resultado de diseño de planta de extracción de polifenoles de pedúnculo de banano.

3.3.1 Diagrama de flujo

Según los mejores resultados de la sección 3.1 y 3.2, y de acuerdo con las condiciones establecidas para secado, concentración de solvente y tipo de extracción, se procedió a realizar un diagrama de proceso para la extracción de polifenoles a partir de pedúnculo de banano (figura 3.5).

Figura 3.7

Proceso de extracción de polifenoles.



En las etapas preliminares del proceso se dispuso la recepción de materia prima, pedúnculo de banano, el cual es pesado y clasificado, para retirar aquellos que se encuentren en mal estado. Como paso siguiente este pedúnculo es troceado en cubos de 0,5cm, y secado en un deshidratador colocándolos en bandejas formando una capa fina; Posterior a la etapa de secado se muele el producto y tamiza hasta alcanzar tamaño de partícula de entre 300um y 600um.

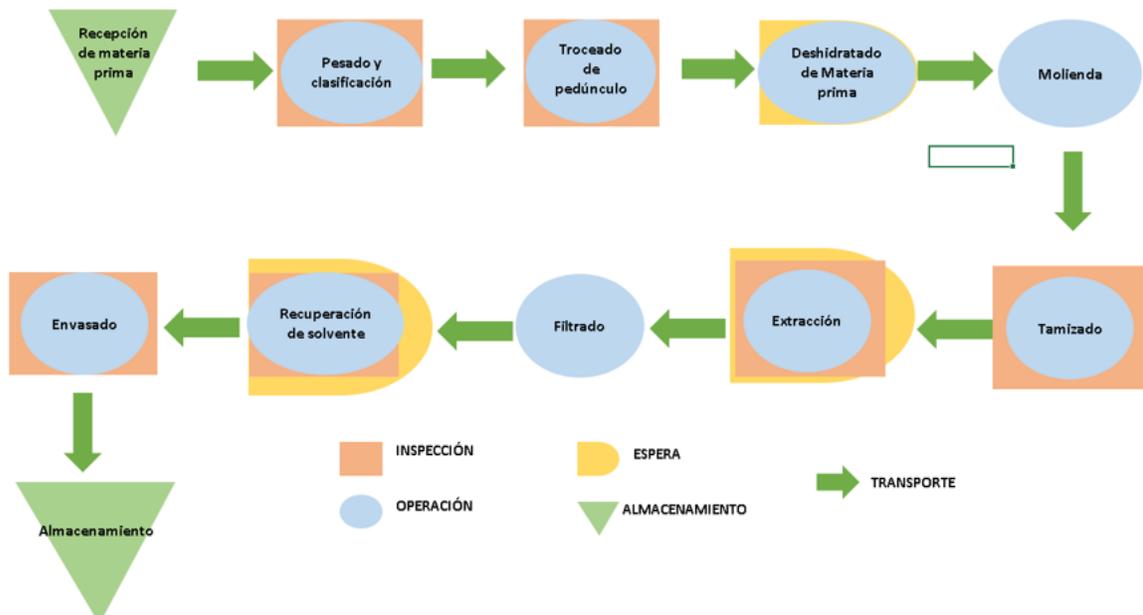
La extracción definida fue por ultrasonido con una concentración de etanol al 90% durante 15min, esta disolución se filtra; el extracto es colocado en un rotavapor para recuperación de solvente, posterior envasado y almacenamiento.

3.3.2 Diagrama de recorrido sencillo

Tomando como referencia el diagrama de flujo de la sección 3.3.1, se realizó el diagrama de recorrido sencillo (figura 3.6).

Figura 3.8

Diagrama de recorrido sencillo



Se definieron 2 etapas de “almacenamiento” que corresponden tanto al inicio y fin del proceso. La mayoría de las actividades son definidas como “operación” a excepción de las etapas de almacenamiento. Se definieron 3 actividades de “espera”, el deshidratado, extracción y recuperación de solvente, las cuales son actividades que implican tiempos más largos en el proceso. Finalmente, las etapas clasificadas como “inspección” son aquellas que implica llevar un control, por la producción de desechos que se genera en el mismo o por el riesgo de contaminación; para este caso se definieron 6 etapas (figura 3.5).

3.3.3 Tabla de relación de actividades.

Se establecieron la relación entre las actividades según el Anexo 1, se detalla el vínculo existente entre cada etapa del proceso y otros departamentos. Se detalla el número min y máximo de relaciones que se pueden establecer a cada letra, y la cantidad total de relaciones establecidas (Tabla 3.7). Donde se puede ver que todos están en los rangos permitidos.

Tabla 3.7

Cantidad máxima y mínima de relaciones.

N	210			
	Min	Max	Real	
A	4	11	11	
E	6	21	9	
I	11	32	17	
O	21	53	24	
U	-		21	
X	-		128	
Total				210

3.3.4 Determinación de espacios.

De acuerdo con la capacidad y dimensiones de cada equipo necesarios para cada etapa del proceso, se calculó una estimación de espacios para cada departamento calculando su superficie estática, dinámica y gravitacional (tabla 3.8).

Tabla 3.8

Estimación de espacios.

	Departamento	Actividad	Equipos	Capacidad	Ss	Sg	Se	Stotal Ss+Sg+Se	Área por departamento	
					Área m ²	Área m ²	Área m ²			
1	Recepción	Recepcion de MP	Banda transportadora	1800 kg	16,00	32,00	2,40	50,40	50,40	
2	Operaciones previas	Pesado y clasificacion	Balanza	2500 kg	2,25	9,00	0,56	11,81	33,71	
3			mesa clasificadora	-	2,50	10,00	0,63	13,13		
4			Troceado	Troceadora	1500kg	2,79	5,57	0,42		8,77
4	Secado	Deshidratado	Deshidratador de bandeja	1500 kg	11,20	11,20	1,12	70,56	70,56	
5	Procesamiento de harina	Molienda	Molino	100kg	2,20	6,60	0,44	9,24	11,89	
6		Tamizado	Tamizador	100kg	0,50	2,02	0,13	2,65		
7	Extracción	Extraccion	Extractor de ultrasonido	150 L	0,72	0,72	0,07	3,02	57,48	
8		Filtrado	Filtro	2000 L	10,62	21,24	1,59	33,45		
9		Recuperacion de solvente	Rotavapor	100 L	1,29	3,88	0,26	16,28		
10		Envasado y etiquetado	Envasadora manual	180 u/h	1,50	3,00	0,23	4,73		
11	Almacenamiento PT.	Almacenamiento PT.	Almacenamiento	153 kg	2,32	2,32	0,23	29,21	29,21	
15	Almacenamiento MP	Almacenamiento de MP	Almacenamiento	N/A	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00	
12	Área no productiva	Area de expedicion		N/A	50,00	0,00	0,00	50,00	175,00	
13		Departamento de Calidad		N/A	12,00	0,00	0,00	12,00		
14		Laboratorio Bromotologico		N/A	12,00	0,00	0,00	12,00		
16		Area de desinfeccion Personal		N/A	6,00	0,00	0,00	12,00		
17		Baños		N/A	12,00	0,00	0,00	24,00		
18		Vestuarios		N/A	12,00	0,00	0,00	24,00		
19		Bodega de P. de limpieza		N/A	8,00	0,00	0,00	8,00		
20		Area de Mantenimiento		N/A	15,00	0,00	0,00	15,00		
21		Area de Desechos		N/A	9,00	0,00	0,00	18,00		
Total								468,25	468,25	m ²

Nota. Elaboración propia.

3.3.5 Distribución de espacios.

Tomando en consideración la estimación de espacios (tabla 3.8), el flujo del proceso (figura 3.4), y la relación entre actividades y departamentos (anexo 1), se diseñó el plano de la empresa. Se adoptó un flujo hacia adelante en forma de “U” con 500m² de área total tomando en cuenta el área de expedición de producto y estacionamiento de camiones. Es importante mencionar que las áreas fueron clasificadas como área negra, gris o blanca de acuerdo con el riesgo de contaminación que estas representaban para el proceso (Tabla 3.9). Siendo las áreas negras aquellas representen un riesgo de contaminación elevado y que no se encuentran relacionadas con el proceso productivo; las áreas grises están indirectamente relacionados con el proceso productivo, pero también representan un punto de contaminación para el producto terminado. Finalmente, las áreas blancas son aquellas zonas críticas de mayor higiene.

Tabla 3.9

Clasificación de áreas por color.

Tipo de área	Áreas
Negra	Área de desechos, mantenimiento, bodega de producto de limpieza, vestuario, baños, área de desinfección, cuarto de máquinas.
Gris	Laboratorio de bromatología, departamento de calidad, área de expedición, almacenamiento MP, recepción, operaciones previas
Blanca	Almacenamiento PT, extracción, procesamiento de harina, secado.

Nota. Elaboración propia.

3.4 Análisis de Costos

Se estimó una producción de pedúnculo diaria de 4931 Kg gracias a un estudio previo realizado en las empacadoras. Se determinó el análisis económico de una planta que pueda procesar

en su totalidad la producción de pedúnculo generada diariamente. En base a los rendimientos obtenidos (Sección 3.6), la producción diaria de extracto de polifenoles es de 2.71 kg con una concentración de 30% en peso de polifenoles puros.

El pedúnculo utilizado en la producción no representa ningún costo (Tabla C.2), ya que es facilitado por la misma Bananera. Sin embargo, el costo de la materia prima necesaria para la extracción como etanol, agua destilada y otros insumos se calculó en \$27.105,85.

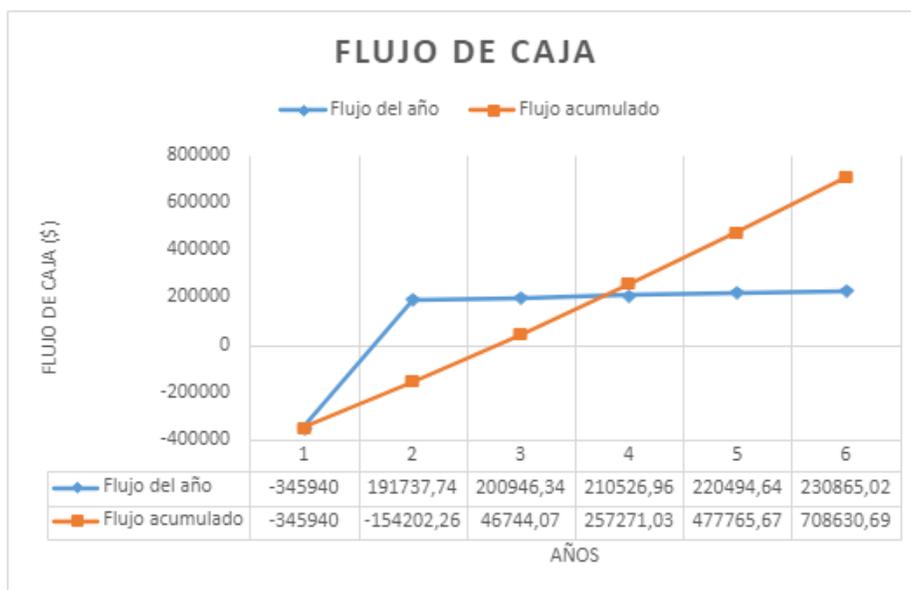
El costo de mano de obra directa mensual fue de \$7.160 (Tabla C.3), donde se encuentran 15 personas involucradas de manera directa en la producción en la cual incluye operarios, analista, supervisor, jefe de planta y analista. Las personas que laboran en la planta de manera indirecta es el personal de limpieza, mantenimiento, ventas y marketing (Tabla C.4) para el cual se calculó un costo de \$1.660 por sus servicios.

Montar y e instalar equipos semi industriales capaces de procesar casi 5 toneladas diarias de pedúnculo tiene un costo de inversión \$345.940 (Tabla C.5), este valor cubre el equipamiento de todas las áreas de la planta desde recepción de materia prima hasta el despacho de producto terminado. Además, se estimó con un 25% del costo de la maquinaria el costo de mantenimiento de los equipos, para el cual su valor anual se estima en \$73.250.

Adicional a esto se consideraron los costes energéticos y servicios básicos necesarios para el funcionamiento de la empresa como electricidad, agua, internet y telefonía donde se destinó \$551,84 (Tabla C.6).

Figura 3.9

Flujo de Caja



Nota. Elaboración propia.

Con los costos fijos y variables se estimó el costo total de producción para 57Kg de extracto mensualmente el cual fue de \$37.282,34, y a su vez se obtuvo un costo unitario de producción por cada Kg de extracto de \$656,51, el mismo que con una utilidad del 40% consigue un PVP de \$1.094,18 (Tabla C.7). El PVP calculado es relativamente bajo al precio del g de polifenoles en el mercado, donde en la actualidad con fecha del mes de enero del 2024 el g de kaempferol con una pureza del 98% oscila entre los 1000 y 3000 dólares americanos. El precio de los demás polifenoles presentes también en el pedúnculo de banano como el ácido clorogénico o catequinas que rodean los miles de dólares por gramo. El precio propuesto es bueno, porque permite dejar un margen de ganancia a la industria encargada de purificar y aislar a los polifenoles presentes. Además, de ofertar su producto mucho más barato que los precios actuales del mercado, a pesar de su complejos y costosos procesos. El punto de equilibrio fue de 6kg de extracto mensual, y se espera obtener ganancias al tercer mes del tercer año de operación de la planta (Figura 3.7).

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se evaluó el pedúnculo de banano como fuente de polifenoles, los mejores resultados alcanzaron valores de 2,91 y 2,95 mg AG/g ms. Sin embargo, estos datos fueron bajos comparados con otro estudio; entre los factores que afectan al contenido de polifenoles se puede mencionar la zona geográfica a la que pertenecen, el tiempo de cosecha, maduración.
- Se determinó que las mejores condiciones para extracción de polifenoles implican un secado por bandeja o liofilización, siendo la más viable el método de bandeja por ahorro de costo y tiempos de proceso. Una extracción por ultrasonido la cuál facilita el acceso y extracción de los polifenoles por el debilitamiento de la matriz vegetal. Finalmente es necesario la utilización de etanol al 90% que gracias a su polaridad permite una mejor extracción de polifenoles.
- Se determinaron los rendimientos del proceso a nivel global, y del proceso dividido en 2 subprocesos correspondientes a obtención de harina y extracción tomando en consideración las mejores condiciones de extracción. El tipo de secado empleado no afectó significativamente al rendimiento del proceso de obtención de harina, ya que manejó una humedad final similar. En lo que respecta al subproceso de extracción se obtuvo un rendimiento de 0,295% con respecto a masa seca. El rendimiento global en base húmeda fue de 0,016%
- Se propuso una línea de producción, con flujo hacia adelante, para una planta piloto de extracción de polifenoles provenientes de pedúnculo de banano con 16 departamentos distribuidos en 550 m².

- De acuerdo con la evaluación de costos realizado se definió un precio de venta de \$1094 por kg de extracto, encontrándose dentro de los rangos dispuestos por la competencia y permitiendo recuperar la inversión realizada y obtener ganancias al 3er mes del tercer año de producción.
- El rendimiento que se obtuvo de polifenoles extraídos fue del 0.01652% con respecto el pedúnculo en base húmeda que ingreso al proceso, debido que tiene un contenido de humedad del 93%, en otras palabras, tiene una elevada proporción de agua, pero esta es separada en una de las primeras etapas del proceso que es la deshidratación.
- Para determinar el costo de la instalación de la planta de extracción, se excluyeron ciertos gastos, como el espacio de construcción, ya que las haciendas cuentan con suficiente espacio disponible. Además, se obviaron los costos relacionados con el suministro de agua, dado que las plantas tienen acceso a pozos y solo se consideran los filtros. Es importante destacar que el pedúnculo se obtiene sin costo alguno y no implica gastos de transporte, ya que se encuentra en el mismo lugar de la instalación.
- La optimización del uso de recursos para agregar valor a un subproducto comúnmente desechado en el sector bananero demuestra el compromiso de este proyecto con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 que corresponde al consumo y producción responsable. Al aprovechar eficientemente el pedúnculo de banano, este estudio no solo contribuye a la eficiencia en el uso de recursos, sino que también promueve prácticas responsables en las empacadoras.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda someter la muestra de harina de pedúnculo a un medio con pH ácido durante la extracción, con el fin de debilitar la matriz vegetal y finalmente evaluar cómo afecta este factor sobre la concentración final de polifenoles.
- Se sugiere realizar pruebas de actividad antioxidante y de caracterización de polifenoles a los extractos con el fin de evaluar su funcionalidad e identificar los compuestos presentes en el mismo, descartando que los mismos se hayan visto afectados por la elevada temperatura de extracción.
- Se recomienda realizar la cuantificación de polifenoles a un extracto proveniente de pedúnculo fresco para comparar las concentraciones de polifenoles obtenidas.
- Se recomienda hacer una separación de azúcares para que no afecte en la cuantificación de polifenoles.
- Dada la presencia de azúcares en los extractos de muestras, se sugiere considerar la implementación de un proceso paralelo que facilite la extracción específica de azúcares del pedúnculo.

Bibliografía

- AEBE. (2023). *Reporte estadístico, Agosto 2023*. https://ugc.production.linktr.ee/b5b6296e-8dd0-4ec2-98b5-47b89885bf09_Reporte-Agosto-AEBE.pdf
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042107>
- Awedem Wobiwo, F., Korangi Alleluya, V., Happi Emaga, T., Boda, M., Fokou, E., Gillet, S., Deleu, M., & Gerin, P. A. (2017). Recovery of fibers and biomethane from banana peduncles biomass through anaerobic digestion. *Energy for Sustainable Development*, 37(1), 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.01.005>
- Bruno Bonnet, C., Hubert, O., Mbeguie-A-Mbeguie, D., Pallet, D., Hiol, A., Reynes, M., & Poucheret, P. (2013). Effect of physiological harvest stages on the composition of bioactive compounds in Cavendish bananas. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 14(4), 270–278. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1200177>
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*, 9(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
- Calva Gonzales, L. D., & Zuma Lalangui, J. D. (2021). *Valorización del raquis de banano mediante su codigestión anaerobia con residuos sólidos urbanos para la obtención de bioenergía* [Grado, Universidad Técnica de Machala]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17357/1/T-20406_GONZALES%20CALVA%20LUIS%20DAVID.pdf
- Chanalata Tumbaco, D. E. (2021). *Panel de pared interna con fibras del raquis de banano y plástico PET reciclado para viviendas de interés social* [Grade]. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Chávez-Estudillo, V., Valencia-Ordoñez, A., Córdova-Nieto, C., Flores Estévez, N., Jarillo-Rodríguez, J., & Noa Carrazana, J. C. (2017). Lixiviados de Raquis de Plátano: Obtención y Usos Potenciales. *Cuadernos de Biodiversidad*, 53, 1–8. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2017.53.01>
- Díaz, S., Benítez, A. N., Ramírez-Bolaños, S., Robaina, L., & Ortega, Z. (2023). Optimization of banana crop by-products solvent extraction for the production of bioactive compounds. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(9), 7701–7712. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01703-7>
- eco.business Fund Latinoamérica & el Caribe, Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos, & Asobanca. (2021). *Guía para el cultivo de banano* (pp. 1–60). eco.business Fund Latinoamérica & el Caribe. https://www.ecobusiness.fund/fileadmin/user_upload/Sustainability_Academy/Recursos/Guia_para_el_cultivo_de_banano.pdf

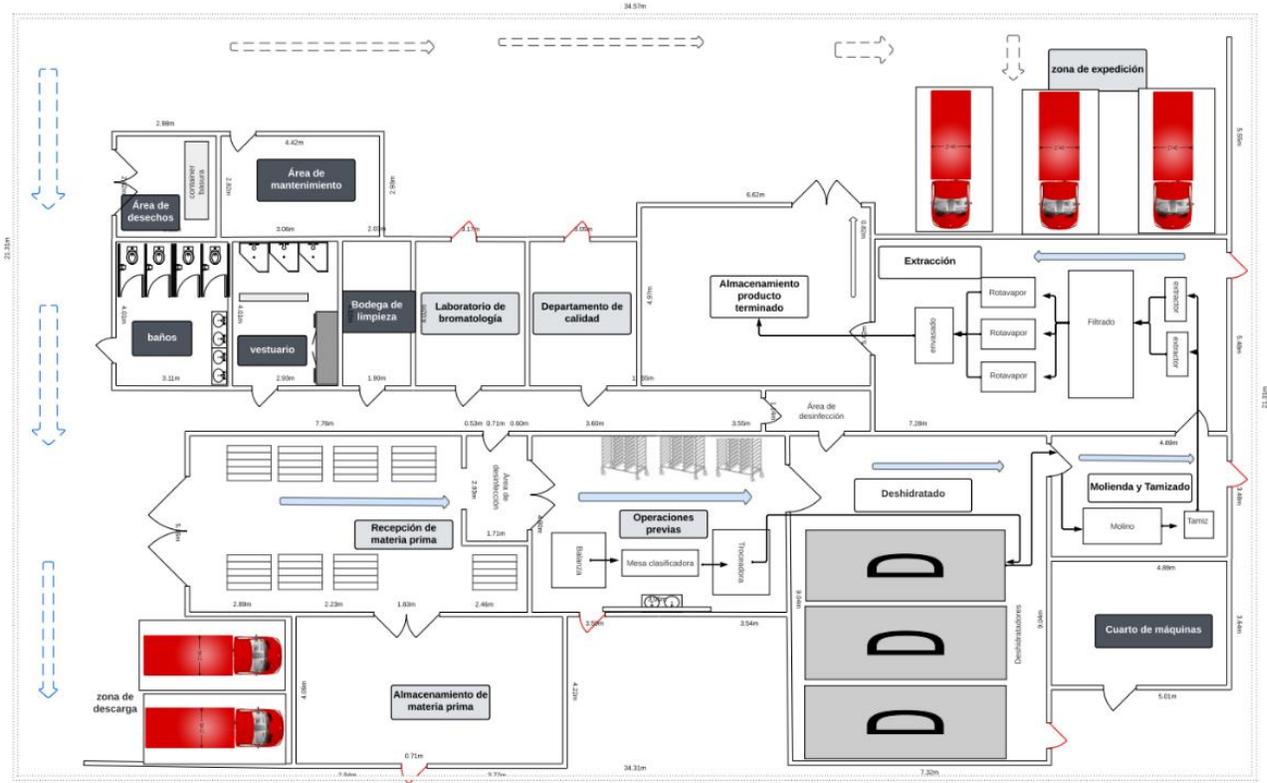
- El-Desouky, N., Shoueir, K. R., El-Mehasseb, I., & El-Kemary, M. (2021). Bio-inspired green manufacturing of plasmonic silver nanoparticles/Degussa using Banana Waste Peduncles: Photocatalytic, antimicrobial, and cytotoxicity evaluation. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 671–686. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.035>
- FAO. (2023). *BANANA Market Review 2022*. <https://www.fao.org/3/cc6952en/cc6952en.pdf>
- Fernandes de Araújo, F., de Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. *Food Chemistry*, 338. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>
- García Batista, R., Quevedo Guerrero, J., & Socorro Castro, A. (2020). Practices for the use of solid waste in banana plantations and results of its implementation. *Universidad y Sociedad*, 12(1), 280–291. <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>
- Gil-Martín, E., Forbes-Hernández, T., Romero, A., Cianciosi, D., Giampieri, F., & Battino, M. (2022). Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. In *Food Chemistry* (Vol. 378). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131918>
- Giuggioli, N. R., Peano, C., & Da Silva, T. M. (2020). Multivariate factor analysis (MFA) approach to evaluate the quality of stored cavendish banana sourced from different geographical areas. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(3), 204–212. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i3.2078>
- Guiné, R. (2018). The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. *International Journal of Food Engineering*, 4(2), 1–8.
- Jiménez - Londoño, E. E., Flórez–Romero, R. del C., Parra–Cristancho, O., & Zúñiga–Rincones, R. (2018). Manejo de residuos sólidos mediante la investigación como estrategia pedagógica en la escuela. *Cultura, Educación y Sociedad*, 9(1), 253–264. <https://doi.org/10.17981/cultedusoc.9.1.2018.20>
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2022). *Boletín de cifras - Comercio Exterior- Enero 2022*. www.produccion.gob.ec
- ONU. (2023). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Oyinloye, T. M., & Yoon, W. B. (2020). Effect of freeze-drying on quality and grinding process of food produce: A review. *Processes*, 8(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/PR8030354>
- Pazmiño-Hernandez, M., Moreira, C. M., & Pullammanappallil, P. (2017). Feasibility assessment of waste banana peduncle as feedstock for biofuel production. *Biofuels*, 10(4), 473–484. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1323321>
- Pazmiño-Hernandez, M., Moreira, C. M., & Pullammanappallil, P. (2019). Feasibility assessment of waste banana peduncle as feedstock for biofuel production. *Biofuels*, 10(4), 473–484. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1323321>

- Ross Watson, R. (2019). Polyphenols in Agricultural Byproducts and Food Waste. In I. Mourtzinou & A. Goula (Eds.), *Polyphenols in Plants Isolation, Purification and Extract Preparation* (2nd ed., pp. 23–38). Academic Press.
- Tan, S., Tang, J., Shi, W., Wang, Z., Xiang, Y., Deng, T., Gao, X., Li, W., & Shi, S. (2020). Effects of three drying methods on polyphenol composition and antioxidant activities of Litchi chinensis Sonn. *Food Science and Biotechnology*, 29(3), 351–358.
<https://doi.org/10.1007/s10068-019-00674-w>
- Valadez-Carmona, L., Plazola-Jacinto, C. P., Hernández-Ortega, M., Hernández-Navarro, M. D., Villarreal, F., Necoechea-Mondragón, H., Ortiz-Moreno, A., & Ceballos-Reyes, G. (2017). Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 378–386.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.012>
- Veliz, K., Chico-Santamarta, L., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Ecuadorian Export Banana: A Life Cycle Assessment. *Foods*, 11(20).
<https://doi.org/10.3390/foods11203288>
- Volf, I., & Popa, V. I. (2018). Integrated Processing of Biomass Resources for Fine Chemical Obtaining: Polyphenols. In *Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value* (pp. 113–160). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63774-1.00004-1>

Apéndices

Apéndice A

Apéndice B



Apéndice C

Tablas de costo considerados para la implementación y funcionamiento de la planta

Tabla C0.1

Producción del extracto de polifenoles mensual y anual

PRODUCCIÓN 2023			
Mes	Días laborables	Kg extracto de polifenoles generado al día	Kg de extracto de polifenoles mensual
Enero	22	2,72	59,73
Febrero	19	2,72	51,59
Marzo	20	2,72	54,30
Abril	22	2,72	59,73
Mayo	21	2,72	57,02
Junio	20	2,72	54,30
Julio	23	2,72	62,45
Agosto	21	2,72	57,02
Septiembre	21	2,72	57,02
Octubre	22	2,72	59,73
Noviembre	20	2,72	54,30
Diciembre	20	2,72	54,30
Total	251	Promedio	56,79

Nota. Elaboración propia.

Tabla C.2

Costo de materia prima

COSTO DE MATERIA PRIMA			
Materia Prima	Cantidad (Mes)	Costo por Presentación	Costo total
Pedúnculo (Kg)	106839	\$-	\$-
Etanol (Gal)	1466	\$8,00	\$11.724,19
Agua destilada (Gal)	2280	\$2,00	\$4.559,41
Total			\$ 27.105,85

Nota. Elaboración propia.

Tabla C.3*Costo de mano de obra directa*

MANO DE OBRA DIRECTA			
Trabajador	Cantidad	Precio (\$)	Total
Supervisores	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Analistas	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Jefe de planta	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Asistente de análisis	1	\$ 460,00	\$ 460,00
Operarios	10	\$ 460,00	\$ 4.600,00
Total			\$ 7.160,00

Nota. Elaboración propia.**Tabla C.4***Costo de mano de obra indirecta*

MANO DE OBRA INDIRECTA			
Descripción	Cantidad	Precio	Total
Limpieza	1	500	\$ 500,00
Mantenimiento	2	600	\$ 1.200,00
Ventas	1	460	\$ 460,00
Total			\$ 1.660,00

Nota. Elaboración propia.**Tabla C.5***Inversión*

Oficina, computo e infraestructura			
Cantidad	Descripción	Costo	Costo Total
1	Teléfono	\$ 100,00	\$ 100,00
4	Escritorio con sillas	\$ 130,00	\$ 520,00
3	Aire Acondicionado	\$ 340,00	\$ 1.020,00
2	Computadoras	\$ 600,00	\$ 1.200,00
1	Infraestructura	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
1	Impresora Láser	\$ 250,00	\$ 100,00
Total			\$ 52.940,00

Equipos y Maquinaria			
Cantidad	Descripción	Costo	Costo Total
2	Balanza Analítica	\$ 250,00	\$ 500,00
3	Mesas de acero inoxidable	\$ 200,00	\$ 600,00
2	Kit de Área de desinfección	\$ 300,00	\$ 600,00
2	Lavadero	\$ 200,00	\$ 400,00
1	Cinta transportadora	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
10	Bin	\$ 800,00	\$ 8.000,00
1	Molino	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
20	Pallet	\$ 60,00	\$ 1.200,00
1	Tamiz	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
2	Extractor ultrasónico	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
12	Rack	\$ 600,00	\$ 7.200,00
1	Filtradora	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
3	Rotavapor	\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
1	Envasadora y etiquetadora	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
3	Deshidratadora de bandeja	\$ 25.000,00	\$ 75.000,00
2	Yale manual	\$ 700,00	\$ 1.400,00
2	Bascula 150 Kg	\$ 300,00	\$ 600,00
1	Montacarga	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
4	Estantería de almacén	\$ 125,00	\$ 500,00
Total			\$ 293.000,00
Inversión total			\$345.940,00
Costo de Mantenimiento Anual			\$73.250,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla C.6

Costo energético y servicios básicos

COSTOS DE COMSUMO DE ENERGÍA Y SERVICIOS			
Consumo de energía mensual			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Total
Agua	1	\$50,00	\$50,00
Luz	1	\$411,84	\$411,84
Consumo de servicios mensual			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Total
Plan Telefónico	1	\$15,00	\$15,00
Internet	1	\$25,00	\$25,00
Insumos de oficina	1	\$50,00	\$50,00

Total	\$ 551,84
--------------	------------------

Nota. Elaboración propia.

Tabla C.7

Instalación, producción, precio de venta y punto de equilibrio

COSTOS DE INSTALACION	
Tamaño de instalación	Precio
Terreno (205,36 m2)	\$0
Total de costos	Precio
Costos variables	\$34.265,85
Costos fijos	\$3.016,49
Producción (Kg de extracto)	57
Total de costos de producción	\$37.282,34
Costo unitario de producción	\$656,51
Porcentaje de criterio	40%
Precio de venta de unidad	\$1.094,18
Costo variable unitario	\$ 603,39
Punto de equilibrio (Kg de extracto)	6

Nota. Elaboración propia.

Apéndice D

Imágenes de los equipos Utilizados

Figura D.1

Deshidratador de bandeja



Figura D.2

Liofilizador



Figura D.3*Tamiz***Figura D.4***Triturador eléctrico*

Figura D.5*Shaker orbital***Figura D.6***Rotavapor*

Figura D.7

Extractor ultrasónico

**Figura D.8**

Lector Multi-Modal de microplacas - Biotek



Apéndice E

Imágenes del proceso de secado y obtención de harina

Figura E.1

Picado



Figura E.2

Secado por bandeja



Figura E.3

Secado por liofilización



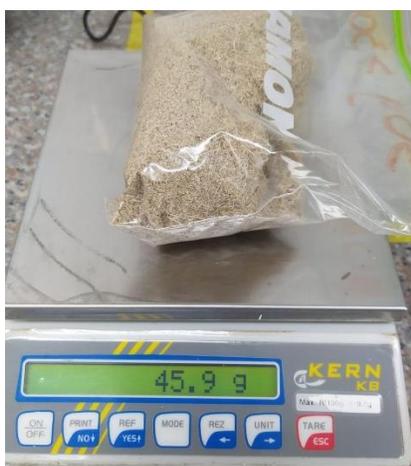
Figura E.4

Tamizado



Figura E.5

Muestra triturada



Apéndice F

Imágenes del proceso de extracción

Figura F.1

Preparación de muestra



Figura F.2

Extracción por Shaker



Figura F.3

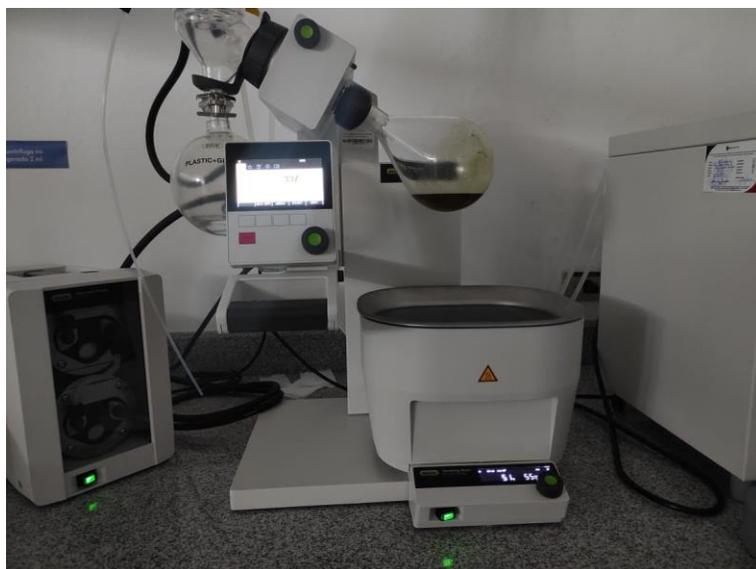
Extracción por ultrasonido

**Figura F.4**

Filtrado

**Figura F.5**

Recuperación de solvente



Apéndice G

Imágenes de los extractos por triplicado

Figura G.1

Extractos



Apéndice H

Imágenes de los extractos por triplicado

Figura H.1

Dilución en microplacas



Figura H.2

Cuantificación en Biotek



