

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los taninos son compuestos polifenólicos que están ampliamente distribuidos en el reino vegetal en diferentes familias, estos se producen en diferentes partes de las plantas como son las corteza, frutos, hojas, raíces y semillas. Su fórmula química aproximada es $C_{76}H_{52}O_{46}$, son una mezcla heterogénea variable y compleja de compuestos químicos, posee sabor amargo y astringente y un color que va desde el amarillo hasta el castaño oscuro (Erika).

Entre algunos estudios referentes a la extracción de taninos, podemos indicar:

- ✓ Revista Lasallista Extracción de taninos del banano verde.
- ✓ Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, Pino Ocote (*Pinus oocarpa* Schiede), Encino Negro (*Quercus brachystachys* Benth) y Aliso Común (*Alnus Jorelensis*), una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales.
- Desarrollo de un proceso a escala laboratorio para la obtención de pectina y taninos a partir de la algarroba (*Hymenea Courbaril-L*) para ser utilizados en la industria alimenticia y la del cuero respectivamente.
- Determinación del contenido de taninos en el extracto tánico de la corteza de melina (*gmelina arborea roxb.*), utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio.
- Obtención de taninos hidrosolubles y su estudio a partir de la harina de vaina de tara.
- Extracción de taninos a escala de laboratorio a partir de semillas de uva del Valle Central de Tarija.

No se ha encontrado algún estudio en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho respecto a la Extracción de taninos de la cáscara de Banano verde, lo que hace que este proyecto de investigación sea único, usando como materia prima productos de desecho.

Los taninos están presentes, en concentraciones variables, en todas las plantas, en particular en algunos árboles, como el castaño y el quebracho. Durante miles de años, el tanino se ha utilizado de muchas maneras diferentes: como agente curtidor, como elemento de fijación en el tinte, incluso como tinta. Podemos decir que el hombre le ha dado diversos usos en diferentes generaciones de la humanidad. En recientes décadas también ha encontrado uso en algunos sectores industriales y en particular en los procesos de producción.

- Curtido Vegetal: Es el protagonista del proceso del curtido al vegetal, un método reconocible con una tradición centenaria. El tanino es capaz de fijar las proteínas (colágeno) otorgándole a las pieles curtidas al vegetal características únicas en comparación con otros métodos de curtido. El tanino le da al cuero esos tonos cálidos que tienden a reaparecer en la superficie con el uso.
- Enología: El tanino se asocia a menudo con el vino, especialmente el vino tinto. Naturalmente, está presente tanto en las uvas como en la madera de los barriles. Además, durante las diferentes etapas de la producción del vino, se agregan extractos tánicos para la clarificación, para la estabilización del color o para la reducción de sulfitos.
- Alimentación Animal: Se utiliza para complementar la dieta de los animales de granja como promotores naturales del crecimiento, ayudando a reequilibrar el microbiota intestinal y fortalecer el sistema inmunológico. Esto significa disminuir el uso de antibióticos y otros medicamentos, mejorando la calidad de vida del animal. Un cambio que tiene efectos beneficiosos en toda la cadena alimentaria.
- Nutracéutica: Los taninos son parte de la familia de los polifenoles, antioxidantes que se encuentran en las frutas y verduras. Al ser ya parte integral de nuestra dieta, se puede utilizar como un suplemento dietético para

contrarrestar el envejecimiento de los tejidos y reforzar las defensas inmunológicas. Una acción que tiene repercusiones positivas también en la vitalidad y el estado de ánimo, lo que desencadena un círculo virtuoso de bienestar.

- Cosmética: Gracias a su poder antioxidante, es capaz de contrarrestar los radicales libres que causan el envejecimiento celular. Por lo tanto, no es sorprendente que se use a menudo en preparaciones cosméticas. Además, reduce la producción de sebo y, por lo tanto, está altamente indicado para el cuidado de la piel grasa e inflamada, ya sea para el cuidado del cabello graso o para reequilibrar el cuero.

En la historia el tanino se origina antes del proceso de curtición, cuando el hombre en su actividad de cazador-recolector tenía una dieta con variedades de frutas y raíces ricas en taninos que era parte del equilibrio intestinal en esa época. Hoy en día el uso de este compuesto naturalmente obtenidos en el vino o en el té es importante para la salud humana.

Cuando el hombre empezó a cazar y sintió la necesidad protegerse del frío empezó a usar los cueros de animales, que posteriormente empezó a teñir utilizando diferentes técnicas de la época. Los sumerios fueron las primeras poblaciones en curtir el cuero con aldehídos, aceites y taninos de nuez. Las técnicas fueron perfeccionadas por los Babilonas, egipcios y Persas que usaron extractos de plantas para teñir pieles. Durante la edad media hasta la segunda guerra mundial, se seguía usando taninos para teñir el cuero aumentando las semanas de teñido.

El tanino es capaz de fijar las proteínas colágeno otorgándole a las pieles curtidas al vegetal características únicas en comparación de otros métodos. Dándole colores cálidos que tienden a reaparecer en la superficie en uso. (Silvateam, Unitan, s.f.).

El banano (*Musa Paradisiaca*), es un fruto de origen asiático, cuyo consumo se ha difundido por todo el mundo, se cultiva por todas las regiones tropicales, durante todo el año, tiene una importancia fundamental para el crecimiento económico de muchos

países en desarrollo. En términos del valor bruto de la producción, el banano es el cuarto cultivo más importante en el mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. (Espinoza Borrero).

Este fruto es un alimento básico que contribuye a la seguridad alimentaria de miles de millones de personas en gran parte del mundo en desarrollo, y dada su comercialización en mercados locales, proporciona ingreso y empleo a las poblaciones rurales. Es también un producto de exportación que contribuye de forma decisiva a las economías de muchos países de bajos ingresos y con déficit de alimentos, entre los que figuran Ecuador, Colombia, Honduras, Guatemala, Camerún, Costa de Marfil, Filipinas y Perú, entre otros.

El banano tiene un alto contenido nutricional, contiene hidratos de carbono por lo que su valor calórico es elevado. Los nutrientes más representativos del plátano son el potasio, magnesio, ácido fólico y sustancias de acción astringente; sin despreciar su elevado aporte de fibra y su característica del tipo fruto- oligosacáridos, especialmente fruto oligosacáridos (FOS), el cual no es digerible por el tracto intestinal y ayuda al crecimiento de bifidobacterias en el colon las cuales ayudan a estimular el sistema inmunológico y disminuyendo los riesgos de cáncer de colon. Son estas las razones por la cual el banano es una de las frutas de mayor consumo mundialmente. (Condori Chipana).

El cultivo del banano se extiende en los departamentos de La Paz (Alto Beni, conformada por Palos Blancos y una parte de Caranavi), Cochabamba, Tarija, Santa Cruz, Beni, Pando. Su consumo anual per cápita es de 100 kg. En la producción de banano trabajan alrededor de 2140 familias aproximadamente que producen un promedio de 190.087 toneladas métricas anuales para el periodo de estudio.

El banano en Bolivia se planta en una superficie total estimada es de 20.191 hectáreas se extiende en los departamentos de Cochabamba, La Paz, Tarija, Santa Cruz, Beni estas regiones están dotadas de bosques subtropicales y suelos favorables para el establecimiento del cultivo, cerca del 96 por ciento de la producción del banano

destinado para la exportación proviene de Cochabamba. Sin embargo, a comparación de países productores de banano para exportación como India, China, Filipinas y Ecuador con una superficie total de 860.000 hectáreas, 381.332 hectáreas, 446.764 hectáreas, 158.057 hectáreas respectivamente, es muy reducido para la competitividad en el mercado de banano. La producción de cada caja de banano cuesta a los productores 2,5 dólares y el precio que actualmente pagan en Argentina es de 1,8 dólares. (Vargas Ramírez).

Uno de los grandes problemas y desventajas que tienen los productores bolivianos frente a sus competidores en Ecuador, Colombia, Costa Rica, Filipinas y Guatemala es la baja productividad que se tiene. La principal razón de esta baja productividad es que para los otros países exportadores de banano el 100% de la fruta producida es comercializada. Esto con la ayuda de contratos a largo plazo entre productores, exportadores y comercializadores, brindando al productor una estabilidad en cuanto a precios justos adicionalmente dando seguridad jurídica. Esto permite a los productores invertir en insumos, capacitación, tecnología, créditos, etc. Con esto se logran obtener rendimientos sumamente altos, disminuyendo a su vez los costos de producción. En el Bolivia solamente el 75% de la fruta producida es contratada, el 25% restante se vende en spot, es decir al momento y sin contrato lo que permite al exportador conseguir precios más bajos. (Condori Chipana).

Al tener una producción tan grande de banano en Bolivia, existen problemas con el rechazo y los desperdicios que se generan, estos desechos no son manejados adecuadamente y generan un grave problema para el medio ambiente por su alta carga orgánica. “Por mucho tiempo estos desechos han sido lanzados a las vías, ríos o laderas”. En el aire estos desechos provocan una grave contaminación por la alta generación de gas metano. Las principales razones por la cual se desecha esta fruta son por daños producidos en el campo, durante la cosecha, el transporte o por defectos naturales.

Cedeño Zambrano & Romero García, (2017), afirma que el principal residuo del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto, las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. Algunas de sus tantas características son: fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas, enzimas y taninos como colorante natural.

Pregunta de investigación

- ¿Cuál es el procedimiento óptimo para la extracción de taninos a partir de la cáscara de banano verde y qué variables físico-químicas influyen en su rendimiento?

Objeto de investigación

El objeto del presente proyecto de investigación aplicada es el rendimiento de los taninos obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un proceso de extracción de taninos a partir de la cáscara de banano verde (Musa paradisiaca) a escala de laboratorio, en la ciudad de Tarija.

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar su calidad.
- Estimar el tiempo de extracción de taninos a partir de la cáscara de plátano verde.
- Determinar el rendimiento del producto obtenido.
- Cuantificar y cualificar el extracto tánico obtenido (caracterización del producto).

JUSTIFICACIONES

Justificación económica

A nivel industrial aportará en la economía de manera positiva utilizando materia de descarte para convertirla en materia prima para utilizarlo en cualquier otro ámbito de la industria.

En caso de escalamiento industrial de un proceso de extracción de taninos a partir de la cáscara de banano podría contribuir a la generación de empleo en sectores relacionados, como la recolección de materia prima, el procesamiento y la comercialización, lo que a su vez impulsaría el desarrollo local.

Justificación tecnológica

Este proyecto puede ser de utilidad para futuras investigaciones que se requieran realizar para el uso de taninos.

La investigación permitirá optimizar y desarrollar un proceso de extracción de taninos utilizando solventes específicos, lo cual podría mejorar la eficiencia y la productividad en la obtención de este compuesto.

El método de extracción de taninos realizado podría servir para la escalabilidad a nivel industrial de este producto, lo que podría tener un impacto significativo en la producción de taninos a gran escala.

Justificación social

Este proyecto beneficiará a los agricultores de banano ya que existe fruta de descarte, dándole un valor agregado aprovechando los residuos que puede aplicarse en diferentes productos.

La utilización de la cáscara de banano como fuente de taninos a través de un proceso tecnológico, contribuiría a la sostenibilidad al reutilizar un subproducto de la alimentación familiar, que de otro modo sería desecharido.

Justificación ambiental

Los agricultores y vendedores deben descartar los plátanos generando residuos que si se les da un tratamiento pueden ser utilizados para producir otra materia prima. Este proceso es amigable con el medio ambiente y al mismo tiempo busca darle un valor agregado a este producto obtenido a base de un residuo.

Todo esto basándose en que actualmente en el país no existen estudios realizados para la optimización de este desperdicio orgánico, ya que por décadas no ha sido explotado, pero lo que vuelve esta investigación más importante, es que se quiere dar a conocer el uso de este desecho como una alternativa para emplear este proceso a nivel industrial.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1 Marco teórico

1.1 Taninos

El nombre tanino deriva del francés TANIN, y este del germánico TAN TANNA químicamente, se define como un compuesto polifenólico elaborado en el interior de las plantas principalmente herbáceas y leñosas, formado por carbono, hidrógeno y oxígeno, al aplicarse en pieles las convierten en cueros, en la que realizan una función protectora. A los taninos se les denomina curtientes, por su capacidad de provocar en las fibras de la piel, un aumento de la temperatura de retracción (las fibras de colágeno de la piel se contraen de manera no armónica cuando se les calienta por encima de ciertas temperaturas; ésta es más elevada cuando las pieles están curtidas). (Chavez Quiñonez, Cano Diaz, & Cerezo Quezada, 2022).

Los taninos son compuestos de gran interés en la química y la ecología. Ellos tienen diversos efectos sobre la digestibilidad de los alimentos y el rendimiento de los animales. Los taninos son compuestos fenólicos de alto peso molecular que contienen principalmente grupos hidroxilos y en algunos casos (carboxilos) que forman complejos fuertes con proteínas y otras macromoléculas bajo condiciones particulares.

Estos componentes químicos pueden encontrarse en todos los órganos o partes de la planta: tallos, madera, hojas, semillas y cúpulas, pero con particular abundancia en las excreciones patológicas provocadas por ciertos insectos, conocidas comúnmente con el nombre de agallas; cuando se presentan en cantidades considerables, suelen localizarse en determinadas partes, como las hojas, frutos, corteza o tallos.

1.1.1 Características de los taninos

Alvarez A. & Lock de Ugaz (1992) afirma que, sus principales características las siguientes:

- a) Son compuestos químicos no cristalizables cuyas soluciones acuosas son coloidales, de reacción ácida y sabor astringente.
- b) Se precipitan con gelatina, albúmina y alcaloides en solución.
- c) Con las sales férricas dan coloraciones negro azuladas o verdosas.

- d) Producen un color rojo intenso con ferricianuro de potasio y amoníaco.
- e) Precipitan a las proteínas en solución y se combinan con ellas, haciéndolas resistentes a las enzimas proteolíticas. Esta propiedad, denominada astringencia, fue mencionada anteriormente.

1.1.2 Clasificación de los taninos

Según Álvarez Ramírez 2007 presenta dos tipos de clasificación de los taninos, que actualmente es empleada, tiene su fundamento en el tipo de estructura base del tanino. Es así que los agrupa en dos grandes clases: taninos hidrolizables y taninos condensados y según su origen.

1.1.2.1 Taninos hidrolizables pirogálicos

Los extractos tánicos hidrolizables o pirogálicos son aquellos que por hidrólisis en medio ácido y a ebullición forman productos solubles en agua.

Su constitución está caracterizada por el hecho de que el núcleo bencénico está unido al segundo compuesto por intermedio de átomos de oxígeno (OH).

Depositán, habitualmente, ácido elágico (compuesto amarillento, cristalizado y poco soluble en agua) finamente dividido que forma en el fondo de las cubas y eflorescencias en el cuero. Con sales de hierro dan coloración negro-azulada.

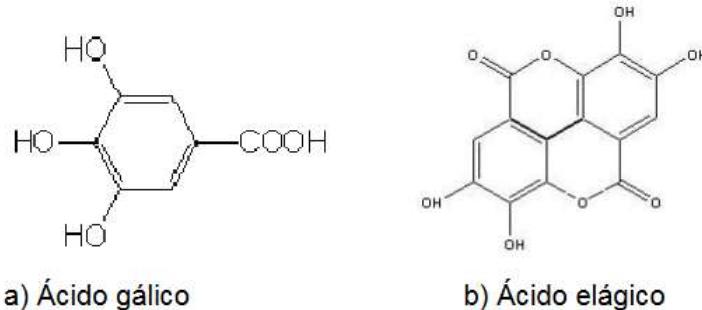
Los extractos tánicos hidrolizables se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Aquellos que forman ácido gálico y glucosa a través de hidrólisis llamados extractos gálicos.
- Aquellos otros que dan ácido elágico y glucosa llamados extractos elágicos.

Características de taninos hidrosolubles o pirogálicos.

Se hidrolizan con facilidad por la acción de los ácidos, bases o enzimas, en un azúcar, un polialcohol y un ácido fenolcarboxílico. Dependiendo del tipo de ácido que produce por la reacción se subdividen en: galotaninos (ácido gálico) y elagitaninos (ácido elágico o dilactona estable del ácido hexahidroxidifénico).

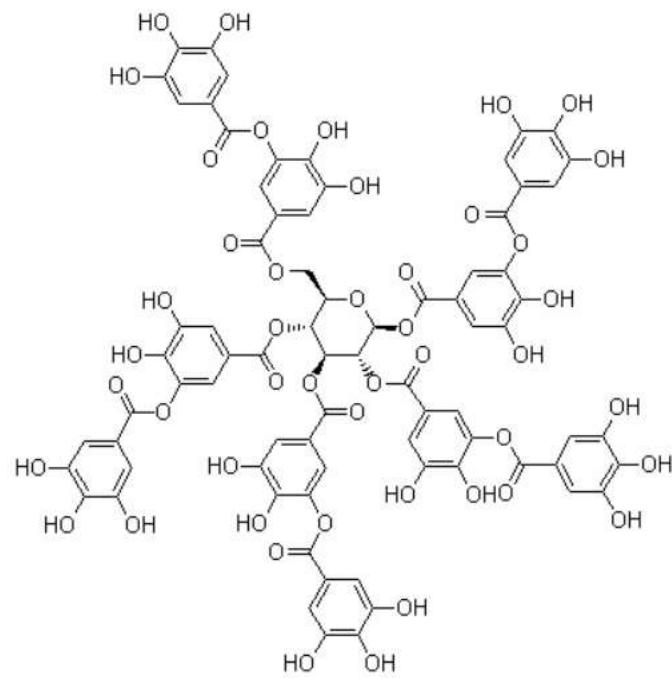
Fig. 1- 1 Estructuras del ácido gálico y el ácido elágico



Fuente: Álvarez Ramírez 2007

El tanino hidrolizable más conocido y usado industrialmente es el ácido tánico, el cual se muestra a continuación:

Fig. 1- 2 Estructura del ácido tánico



Fuente: Álvarez Ramírez 2007

Los taninos hidrolizables poseen propiedades como (Alnicolsa, 2007):

- Cuando se destilan en seco producen pirogalol.
- Los núcleos bencénicos están unidos por medio de átomos de oxígeno D.
- Dan coloración azul con FeCl3.
- No precipitan con soluciones de bromo.

1.1.2.2 Taninos no hidrosolubles o condensados

Alvarez Ramirez (2007) afirma que, los extractos condensados o catequínicos que en las mismas condiciones forman precipitados. Sus núcleos constituyentes están reunidos entre sí con intervención de átomos de carbono. Se les llama catequínicos porque sometidos a destilación seca, casi todos, dan pirocatequina. Los taninos condensados son polímeros de flavan-3,4-dioles.

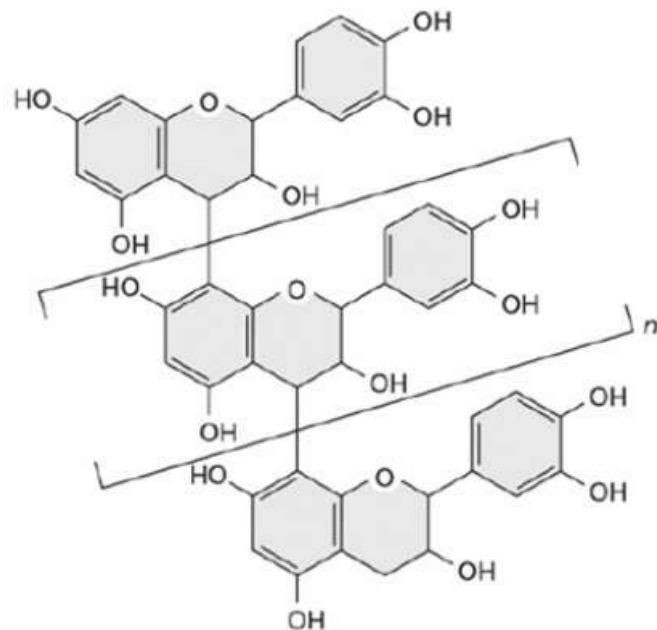
Los taninos condensados presentes en leguminosas tropicales se encuentran en tres formas principales: (a) extractables (reactivos con proteína), (b) ligados a proteína, y (c) ligados a fibra. Existen leguminosas donde todos los taninos son extractables (e.g. *Acacia boliviana*) y en otras donde todos son ligados (e.g. *Gliricidia sepium*).

1.1.2.3 Características de los taninos condensados

Son derivados de unidades de flavan-3,4-dioles (leucoantocianidinas o proantocianidinas monómeras), conocidos actualmente también como proantocianidinas condensadas.

Al ser tratados con ácidos en caliente, se origina una polimerización progresiva hasta dar taninos amorfos, llamados flobafenos o taninos rojos. En ellos, los núcleos bencénicos están unidos por átomos de carbono (por ejemplo, C-4 a C-8, C-4 a C-6). Dan coloración verde con FeCl3. Precipitan con soluciones de bromo.

Fig. 1- 3 Estructura general de un tónico condensado



Fuente: Álvarez Ramírez, (2007)

1.2 Banano

1.2.1 Descripción

Es una fruta de alimento que ha sido alta apreciada y altamente consumida por el hombre desde tiempos antiguos. La planta de banano pertenece a las Musáceas y su nombre científico es *Musa paradisiaca*. El nombre "banano" es originario de África y se originó en el sureste asiático e Indochina. La planta alcanza una altura de 2 m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro. (Moreira Carrion, 2013).

En la industrialización del banano existen algunas técnicas para el procesamiento del plátano verde, con el fin de obtener productos como:

- Polvo de banano
- Banano deshidratado
- Jalea de banano

- Harinas para consumo humano

Por otro lado, la fruta de banano contiene 60% de pulpa y 40% de cáscara, es decir que de una caja de banano de 18,14 kg se desperdician 7,25 kg (Soto, 1992). Estos indicadores obligan a buscar alternativas para emplear estos residuos y que los mismos no se sumen a los problemas de contaminación que a cada día se acrecientan en el mundo.

Desde el punto de vista del consumo final de la planta de banano, solamente se aprovecha el fruto, desaprovechando las partes relacionadas con su formación (raquis, cáscaras, bráctea). Estos sub-productos de la cosecha contienen elementos nutritivos importantes que podrían ser utilizados en la alimentación humana. (Moreira Carrion, 2013).

1.2.2 Tipos o variedades de bananas

Según existen las siguientes clases de plátano:

- Plátano de cocción *Musa Paradisiaca*
- Plátano Cavendish Valery
- Plátano enano o dominico

1.2.2.1 El plátano de cocción (*Musa Paradisiaca*)

Fig. 1- 4 Plátano *Musa Paradisiaca*



Fuente: Acosta (2022)

Clasificado originalmente como *Musa paradisiaca* en 1753, la especie tipo del género *Musa*, de acuerdo con las reglas del Código Internacional de Nomenclatura Botánica, el nombre linneano cuenta con prioridad, y sigue siendo usado como en la modificada *Musa × paradisiaca*. (De Marcado, s.f.).

Al plátano macho también se lo conoce como "plátano de guisar o hartón", más grande y menos dulce que el resto de variedades de su misma familia. El plátano tiene forma oblonga, alargada y algo curvada. El peso del plátano macho es de los más grandes, llegando a pesar unos 200 gramos o más cada unidad. (Paredes)

El plátano macho tiene una piel gruesa y verdosa y su pulpa es blanca. En el bananito, la pulpa es de color marfil y la piel es fina y amarilla. El plátano y el bananito destacan porque su sabor es dulce, intenso y perfumado. El plátano macho, la pulpa tiene una consistencia harinosa y su sabor, a diferencia del resto de plátanos de consumo en crudo, no es dulce. Los plátanos se pueden recolectar todo el año y son más o menos abundantes según la estación. Se cortan cuando han alcanzado su completo desarrollo y cuando empiezan a amarillear. (Vargas Ramírez).

Tabla 1- 1 Contenido nutricional del plátano macho

Por 100 g de porción comestible del plátano macho	
Energía	109 kcal
Humedad	72.56
Proteínas	1.33 g
Grasas	0.5 g
Carbohidratos totales	24.86 g
Hierro	0.16 mg
Vitamina A	28.0 mg
Calcio	90 mg
Vitamina C	9 mg

Fuente: Tabla Boliviana de Composición de Alimentos; INLASA, 2005

El plátano pertenece a la familia de las musáceas, la cual incluye los plátanos comestibles crudos (*Musa cavendishii*), los bananitos o plátanos enanos (*Musa x paradisiaca*) y los plátanos machos o para cocer (*Musa paradisiaca*).

Tabla 1- 2 Composición bromatológica del banano verde

Indicé (%en base seca)	Fruto	Cáscara
Materia seca	20	18
Extracto libre	8.2	33.2
Proteína (Nx6.25)	5.5	9.5
Extracto etereo	1.1	8.3
Fibra bruta	1.3	26.7
Cenizas	4.0	22.0
Taninos	7.4	40.5
Almidón	72.3	

Fuente: Revista Lasallista de investigación

Los bananos verdes contienen del 20 – 22% de la materia seca, principalmente en forma de almidón. Cuando estas maduran el almidón se convierte en azúcares simples como: sacarosa, fructuosa y glucosa. Los azúcares presentes en la pulpa de banano maduro, son fácilmente asimilables. Los principales son sacarosa (66%), glucosa (20%) y fructuosa (14%). (Moreira Carrion, 2013).

1.2.2.2 Plátano Cavendish Valery

Después del desastre del Gros Michel, encontraron una variedad resistente al hongo. Su sabor era menos intenso y era un fruto de mayor tamaño y menos fácil de manejar a nivel industrial: el plátano Cavendish, que acabó por imponerse por su resistencia al *Fusarium oxysporum*. Actualmente hay distintos cultivares o tipos de plátano Cavendish, (Acosta, 2022).

Fig. 1- 5 Plátano Cavendish Valery



Fuente: (Cavero, s.f.)

Los plátanos Cavendish se pueden consumir crudos como postre o aperitivo, sin necesidad de ser cocinados, y suponen un porcentaje bastante alto de la producción mundial del fruto. Son amarillos cuando maduran, con manchas características de color marrón o negro.

Sus principales características son:

- Sabor dulce y consistente.
- Es de color amarillo.
- El nombre está registrado como marca.
- Fruto grande.
- La curva de la cáscara es firme. (Cavero, s.f.)

1.2.2.3 Plátano dominico o enano

Este es el más pequeño, es una variedad muy dulce pese a su pequeño tamaño, por lo que se usa mucho en pastelería, repostería y en la elaboración de bebidas dulces.

Es muy rico en vitaminas del grupo B, así como en vitaminas C y E, además de tener un alto contenido de magnesio. (Acosta, 2022).

Fig. 1- 6 Plátano pequeño o dominico



Fuente: Flores (s.f.)

1.2.3 La Cáscara del banano

Cerca del 95 por ciento de los residuos que se generan del plátano no son aprovechados eficientemente por el cultivador, ya que su producción la enfoca en la comercialización o como opción alimenticia para el hogar, por lo que después de usar el fruto destina lo restante a abono para la cosecha. (Moreira Carrion, 2013).

El principal subproducto del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto, siendo una cantidad considerable de residuos que se podrían aprovechar para la producción de complejos enzimáticos. Las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. Los principales componentes de la cáscara son: celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%) y además esta es rica en taninos. Baenna, Natalia., Hernandez, Hector. & Sierra, Geraldyne. (2016).

La cáscara de banano maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca. La fibra cruda en la cáscara de banano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa. (Vargas Ramirez).

Tabla 1- 3 Composición química de la cáscara de banano

Componentes	Cáscara de banano Verde	Cáscara de banano maduro
% Humedad	91,62	95,66
% Proteína cruda	5,19	4,77
% Fibra Cruda	11,58	11,95
Energía bruta, Kcal	4383	4592
% Calcio	0,37	0,36
% Fósforo	0,28	0,23
% Ceniza	16,3	14,58

Fuente: Fuentes Córdova & Perazo Yagual (2005)

La cáscara de banano está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, pero su composición varía con el origen del material. La fibra vegetal se clasifica en dos tipos: soluble e insoluble. La fibra soluble puede contribuir a equilibrar el nivel de colesterol en la sangre, prevenir el cáncer de colon, regular el tránsito intestinal y disminuir altos niveles de glucosa en la sangre (Paredes).

La fibra insoluble; se refiere a la celulosa, lignina y algunas hemicelulosas; es fundamental para el tránsito intestinal, ya que la celulosa tiene un efecto laxante mayor al de la fibra soluble, lo cual es muy beneficioso para combatir el estreñimiento. Por esta razón se recomienda el consumo de productos que contengan fibra vegetal, siendo los remanentes de banano una fuente potencial de fibra para el consumo humano. Moreira Carrion (2013).

1.2.3 Producción de plátano

Los plátanos son cultivos perennes que crecen con rapidez y pueden cosecharse durante todo el año. En el año 2000, se cultivó una superficie aproximada de 9 millones de hectáreas. El promedio de la producción mundial en 1998 – 2000 fue de 1192 millones de toneladas anuales y en 2001 se estimó en 99 millones de toneladas.

Estas cifras son una aproximación, ya que la mayor parte de la producción mundial de plátano, casi el 85%, procede de parcelas relativamente pequeñas y huertos familiares en donde no hay estadísticas. En muchos países en desarrollo, la mayoría de la producción de plátano se destina al autoconsumo o se comercia localmente, desempeñando así una función esencial en la seguridad alimentaria. (Muñoz Estrada, 2016).

A nivel mundial, se estima que la producción mundial de plátano creció un 30% en los años noventa. No es posible determinar el valor exacto del cultivo porque solo la séptima parte de los plátanos producidos llegan al mercado internacional. El valor total del comercio internacional del plátano oscila entre 4500 y 5000 millones de dólares U\$D. anuales.

Para el año 2011, la producción de plátanos en el mundo fue de aproximadamente 145,4 millones de toneladas, los países mayores productores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1- 4 Mayores productores de banano en el mundo

País	Millones de toneladas	Porcentaje total mundial
India	29,7	20%
Uganda	11,1	8%
China	10,7	7%
Filipinas	9,2	6%
Ecuador	8,0	6%
Brasil	7,3	5%
Indonesia	6,1	4%
Colombia	5,1	4%
Camerún	4,8	3%
Tanzania	3,9	3%
Resto	49,6	34%
Total, mundial	149,4	100%

Fuente: Agri-Food Bussines Development Centre (2012).

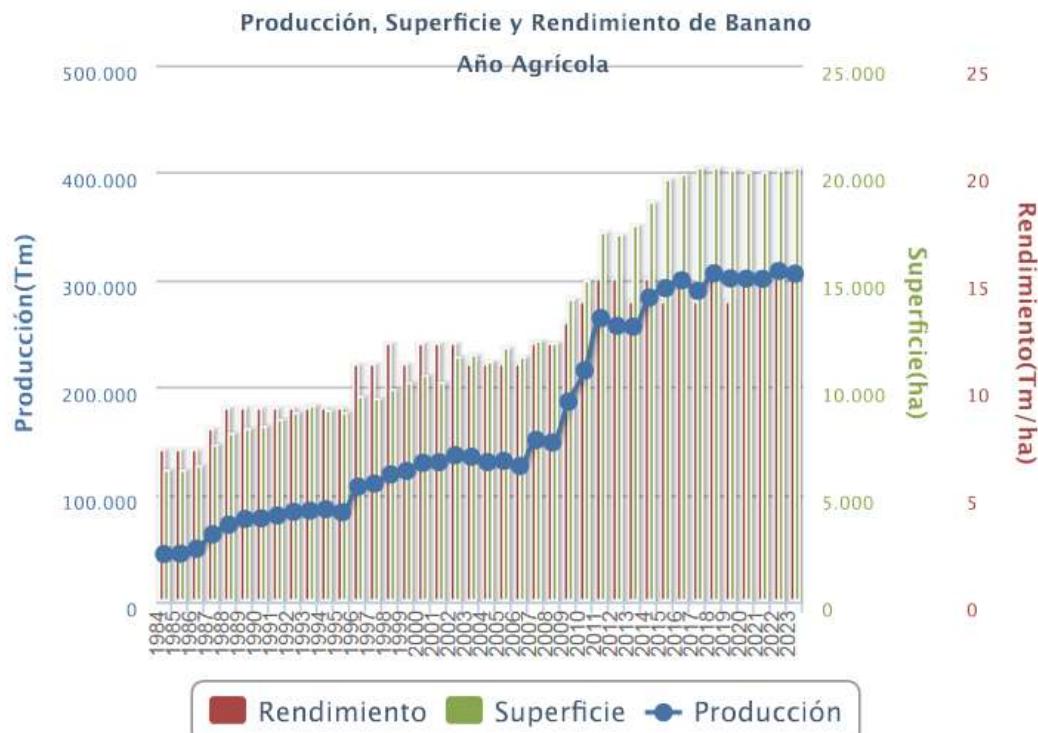
En la Tabla 1-4, se observa los países con mayor producción de banano del mundo encabezado por India con 29,7 millones de toneladas, seguido de Uganda con 11,1 con millones de toneladas y China con 10,7 con millones de toneladas.

Tabla 1- 5 Superficie, producción y rendimiento del Banano en Bolivia

Gestión	Superficie (Ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (Tm/Ha)
2007	12.082	150.746	12,48
2008	11.960	148.220	12,39
2009	14.026	186.442	13,29
2010	14.946	215.523	14,42
2011	17.187	264.327	15,38
2012	17.055	257.103	15,07
2013	17.531	256.351	14,62
2014	18.601	283.309	15,23
2015	19.671	292.221	14,86
2016	19.837	299.580	15,1
2017	20.191	289.673	14,35
2018	20.157	305.950	15,18
2019	20.103	301.255	14,99
2020	20.010	301.162	15,05
2021	19.994	300.871	15,05
2022	20.091	308.181	15,34
2023	20.232	305.525	15,1

Fuente: MDRyT, Elaboración DAPRO

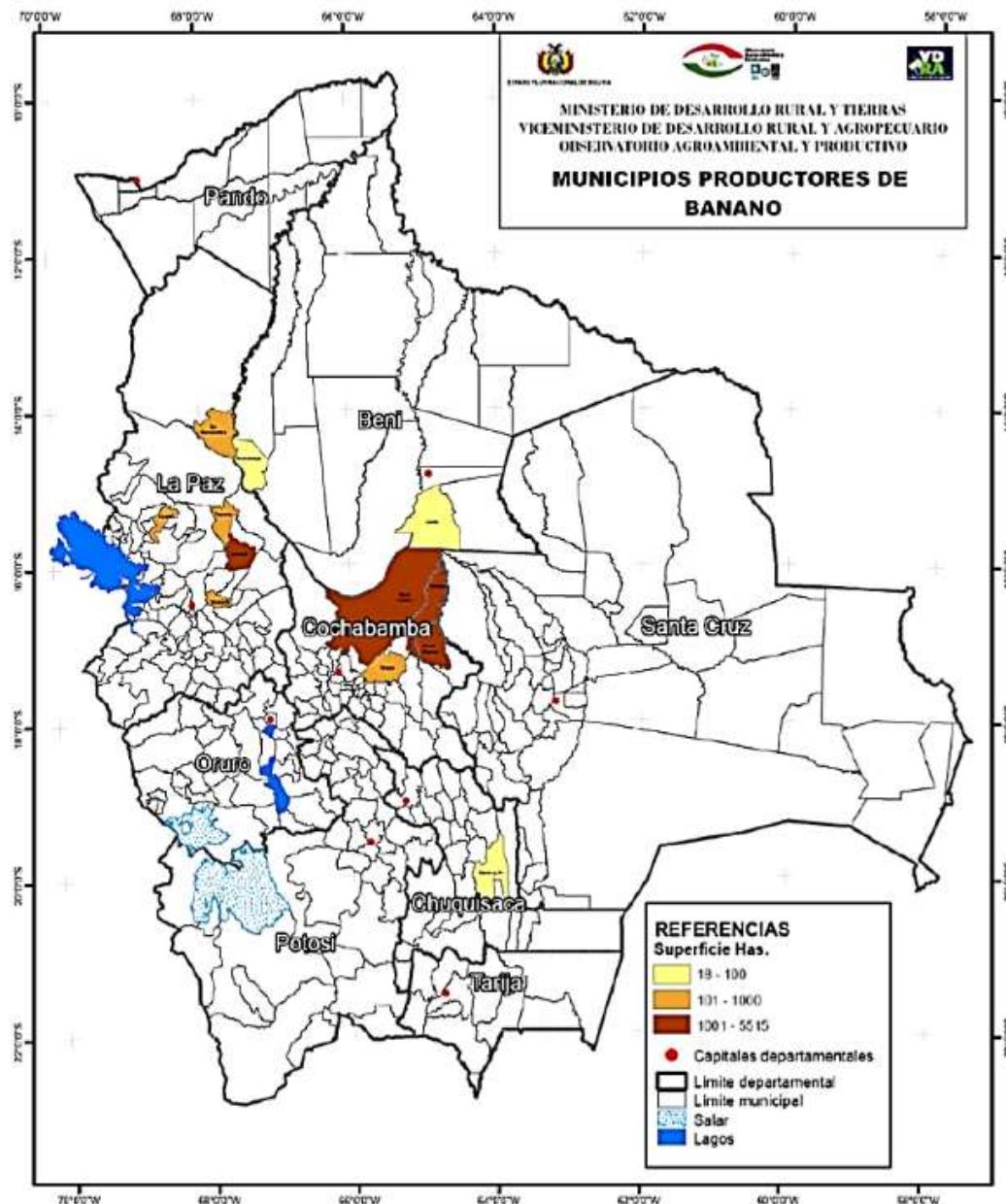
Fig. 1- 7 Producción, superficie y rendimiento de banano año agrícola



Fuente: MDRyT, Elaboración DAPRO

Se cultivan siete variedades de esta fruta en el país: banano – cavendish, banano – dulce cajita (lady's finger), banano – flia 18, banano – grandnaine, banano – mokotaqui, banano – Williams, más una variedad de plátano papancha (french plantain); el único producto industrializado con presencia en el mercado es el banano deshidratado. La harina de plátano se dejó de producir ya que no es un producto rentable. (IBCE, 2008).

Fig. 1- 8 Ubicación geográfica de zonas productoras de plátano en Bolivia

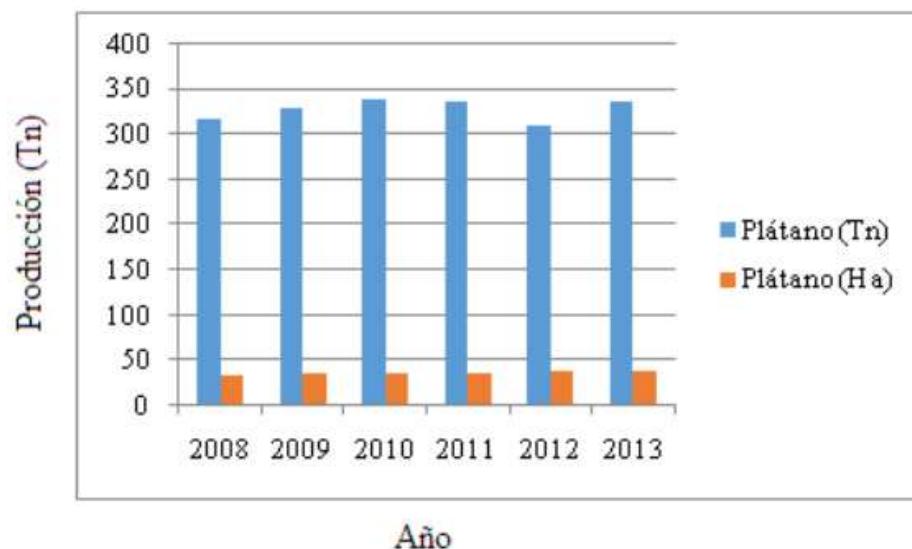


Fuente: SENASAG. 2014.

A pesar de notarse un ligero descenso, la producción de plátano en Bolivia se incrementó de manera considerable tras las políticas productivas impuestas por el gobierno para este sector, como la Ley N° 144 “Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria” que definen al cultivo del plátano en calidad de rubro estratégico. (Perfil Producto Banana, 2014).

La siguiente Figura 1-9, muestra el comportamiento de la producción de plátano en los años 2008 hasta el 2013, de acuerdo a la superficie cultivada en hectáreas (Ha), toneladas métricas (Tn) y según campaña agrícola, en Bolivia.

Fig. 1- 9 Bolivia comportamiento de la producción de plátano



Fuente: MDRyT, Elaboración DAPRO

Según el Ministerio de Desarrollo Rural y tierras, tiene como datos oficiales el incremento de producción de banano desde el año 2013 al 2023, que desde el año 2013 se evidencia un incremento de la producción de plátano, donde inicialmente Cochabamba tiene 186.890 ton, La Paz 59.011 ton, Santa Cruz con 4.159 ton y Tarija con 306 ton. Hasta el año 2023 el departamento de Cochabamba es el mayor productor de banano en Bolivia con 216.666 ton, La Paz con 75.257 ton, Santa Cruz con una producción de 75.267 ton y Tarija con 339 ton.

Tabla 1- 6 Producción de banano año agrícola por departamentos

Año	Departamentos en Tm						
	SUCRE	LA PAZ	CBBA	TJA.	SANTA CRUZ	BENI	PANDO
2013	59.011	59.011	186.890	306	4.159	4.974	948
2014	63.715	63.715	208.433	325	4.446	5.325	1.004
2015	68.083	68.083	212.625	343	4.364	5.697	1.020
2016	69.809	69.809	217.974	351	4.472	5.833	1.045
2017	74.802	74.802	202.474	321	4.690	6.228	1.066
2018	74.768	74.768	218.848	336	4.581	6.236	1.087
2019	75.235	75.235	213.257	343	4.673	6.527	1.117
2020	75.412	75.412	213.096	340	4.674	6.468	1.075
2021	75.184	75.184	213.070	339	4.666	6.430	1.084
2022	75.080	75.080	220.547	336	4.657	6.378	1.086
2023	75.267	75.267	216.666	339	4.652	7.224	1.283

Fuente: MDRyT, Elaboración DAPRO

Fig. 1- 10 Producción de banano año agrícola

Fuente: MDRyT, Elaboración DAPRO

1.3 Técnicas de cuantificación de taninos

(Sias, 2018) describe que, las primeras técnicas desarrolladas fueron técnicas espectrofotométricas, que tienen interés desde el punto de vista del control de calidad, no aportan la suficiente información desde un punto de vista nutricional, por lo que ha sido necesario recurrir a técnicas más precisas, como las cromatografías, que permitan la identificación individualizada de cada uno de los polifenoles de interés nutricional.

1.3.1 Técnicas cromatográficas

Las técnicas cromatográficas han permitido la separación, aislamiento, purificación e identificación de compuestos fenólicos, así como el estudio de la interacción entre los polifenoles y otros componentes de los alimentos. Las técnicas de cromatografía en papel y en capa fina, son empleadas para la purificación y aislamiento de compuestos fenólicos en los alimentos, sobre todo para la determinación de ácidos fenólicos. (Sias, 2018).

1.3.2 Ensayos ultravioletas

Numerosos estudios se han realizado para desarrollar técnicas rápidas de cuantificación de compuestos fenólicos mediante ensayos ultravioletas. Cada grupo de compuestos fenólicos se caracteriza por tener una o varias absorbancias máximas a distintas longitudes de onda dentro del espectro ultravioleta. Así, los fenoles simples tienen una absorbancia máxima entre 220 y 280 nm, mientras que los compuestos fenólicos relacionados presentan una amplia variación en la longitud de onda a la cual presentan una absorbancia máxima. Una de las técnicas más empleadas dentro de este grupo es la determinación del ácido clorogénico, el cual es cuantificado tras su extracción con alcohol etílico y posterior lectura de la absorbancia máxima a una longitud de onda de 325-328 nm. (Sias, 2018).

1.3.3 Técnicas espectrofotométricas

Numerosos métodos espectrofotométricos han sido desarrollados para la determinación del contenido de compuestos fenólicos en materiales vegetales.

Estos métodos pueden cuantificar todos los compuestos fenólicos extraíbles como grupo 16-18 o pueden determinar una sustancia fenólica específica como la sinapina 19 o el ácido sinálico, o una clase determinada de compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos. Entre este tipo de técnicas, los métodos usados comúnmente para determinar polifenoles en alimentos destacan el ensayo de la vainillina para la determinación de compuestos flavan-3-ol, dihidrocalconas y proantocianidinas que tienen una unión simple en la posición 2,3 y poseen grupos metahidroxi libres en el anillo B Y los ensayos de Folin- Denis y Folin-Cicocalteu para la cuantificación de polifenoles totales en alimentos vegetales y en bebidas. (Sias, 2018).

1.3.4 Método de cuantificación de taninos por el método de folin- ciocalteu

El método usado comúnmente para determinar y cuantificar fenoles totales en alimentos y vegetales es el ensayo de Folin-Ciocalteu. El método de Folin-Ciocalteu se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolíbdico –fonsfotungstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolíbdico – fosfotungstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W₈O₂₃) y molibdeno (Mo₈O₂₃), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula.

El contenido de fenoles es expresado en mg/g de peso seco de la muestra a ser analizada, la absorbancia se determina a 760 nm y se compara con una curva de calibración realizada con ácido gálico, de ahí que se utiliza el término “Unidades de ácido gálico equivalentes por gramo de extracto o materia vegetal desecada”. (Sias, 2018).

1.4 Métodos extractivos

En el esquema de la figura 1.12.1-1 se muestra la clasificación de los métodos extractivos conocidos, de los cuales, la extracción por Soxhlet y la maceración son los más utilizados en la industria química y farmacéutica.

Fig. 1- 11 Clasificación de los métodos de obtención de los extractos taninos



Fuente: (Sias, 2018)

1.4.1 Extracción con solventes

Consiste en la separación de los principios activos de la planta al ponerla en contacto con solvente o la mezcla de ellos, capaz de solubilizar dichos principios. Estos deben pasar de la planta al disolvente de manera que se obtenga un extracto líquido y un residuo.

La extracción con solventes es una de las técnicas que se emplea con más frecuencia para la obtención de principios activos. Para que se lleve a cabo correctamente se deben considerar los siguientes factores: Las características del material vegetal (secado y tamaño de la partícula), la naturaleza del solvente, la temperatura de agitación, la relación sólido- líquido, el tiempo de extracción y el control de la difusión celular (renovación del solvente).

Los métodos de extracción con solventes se dividen en dos grupos:

1.4.1.1 Extracción continua o progresiva

En la extracción continua, el solvente se va renovando o recirculando y actúa sobre la planta en una sola dirección. Son métodos que consisten en mantener en todo momento

el desequilibrio entre la concentración de principio activo en la planta y en el solvente para que se produzca la difusión celular. Mediante estos procedimientos se puede llegar la extracción prácticamente completa de los principios activos de las plantas. La percolación, la repercolación y el soxhlet, son los métodos que pertenecen a este grupo y se describe a continuación.

a) Percolación

La percolación comprende una etapa preliminar de humedecimiento, seguida por la extracción exhaustiva de los principios activos de la planta, que consiste en colocar el material vegetal en una columna, con un flujo permanente de solvente, que ingresa por la parte superior y atraviesa la zona donde se encuentra la planta y se mantiene un gradiente de concentración que permite extraer sus principios activos.

La calidad del extracto, obtenido por percolación, depende del grado de finura del material vegetal, de la velocidad de difusión de las sustancias activas desde la planta al disolvente y de la velocidad de flujo del disolvente, que puede ser lenta (1 mL/min), moderada (1-3 mL/min) o rápida (3-5 mL/min).

b) Repercolación

La percolación simple presenta, como desventaja, el alto consumo de solvente. Por esta razón, en condiciones industriales, es preferible usar la repercolación que consiste en hacer recircular el mismo solvente a través del material vegetal. Este procedimiento aumenta la eficiencia del proceso.

c) Soxhlet

Se realiza en un aparato Soxhlet, que consta de un refrigerante, un cuerpo extractor y un balón. En el balón se lleva a ebullición el solvente, sus vapores ascienden hasta el refrigerante, donde condensan. El condensado cae sobre la muestra, generalmente contenido en un cartucho y colocada previamente en el cuerpo extractor, y la macera hasta que el cuerpo extractor se llena y el extracto sifonea por el tubo material, para

desembocar en el balón evaporador. Esta operación se repite sucesivamente, con lo que el solvente se va reciclando y los principios activos se van concentrando en el balón inferior.

1.4.1.2 Extracción discontinua

En la extracción discontinua, la totalidad del material vegetal se sumerge en el solvente y contacta con este, por lo que la difusión de los principios activos se producirá en todas las direcciones hasta alcanzar el equilibrio entre la concentración del solvente y el residuo. La maceración, la digestión, la infusión y la decocción son los métodos que pertenecen a este grupo y se describe a continuación.

a) Maceración

La maceración simple o estática consiste en poner el material crudo, con el grado de finura prescrito, en contacto con el solvente, en recipientes o equipos cerrado, protegidos de la luz solar, a temperatura ambiente y por un tiempo que puede variar entre horas o varios días entre maceración. Se realizan agitaciones ocasionales. La principal desventaja es la lentitud del proceso.

Posteriormente, el extracto es filtrado y la torta lavada con el mismo solvente para luego ser prensada o centrifugada, con el objeto de recuperar la parte del extracto retenido en la misma. Los solventes más utilizados en la maceración son: agua, glicerina o mezclas hidroalcohólicas. Para disminuir el tiempo de operación, el material vegetal y el solvente deben mantenerse en movimiento constante. Este procedimiento es conocido como maceración dinámica.

Los equipos para la maceración estática ya no se usan a escala industrial y han sido sustituidos por los equipos con agitación, la misma que se realiza con un agitador interno o por el giro completo del recipiente.

b) Digestión

Es una forma de maceración, pero en esta se trabaja a temperaturas más elevadas, lo que aumenta el poder disolvente. Si el solvente empieza a volatilizarse, se adapta

un condensador al balón donde se efectúa la digestión para que el solvente pueda usarse continuamente.

c) Infusión

Este método se aplica a las partes blandas de la planta (hojas, flores). Consiste en sumergir el material vegetal molido en agua a una temperatura próxima a la de ebullición o menor, durante 1 o 2 minutos, hasta un tiempo de 30 minutos después de lo cual se filtra. El extracto debe emplearse en un lapso no mayor a un día.

d) Decocción

El material vegetal se pone en contacto con agua, y el conjunto se lleva a ebullición, la misma que se mantiene durante 5 a 30 minutos, hasta un máximo de 30 minutos. Generalmente, se aplica este método a partes leñosas de la planta y el tiempo de decocción depende de las características de dichas partes.

1.4.2 Descripción del proceso de extracción de taninos

Según Cedeño Zambrano & Romero García (2017) para el proceso de obtención de taninos se debe seguir las siguientes etapas:

Selección: Se recolectan las cáscaras de plátano que estén en buen estado, estas no deben contener impurezas (pulpa y otro tipo de residuos).

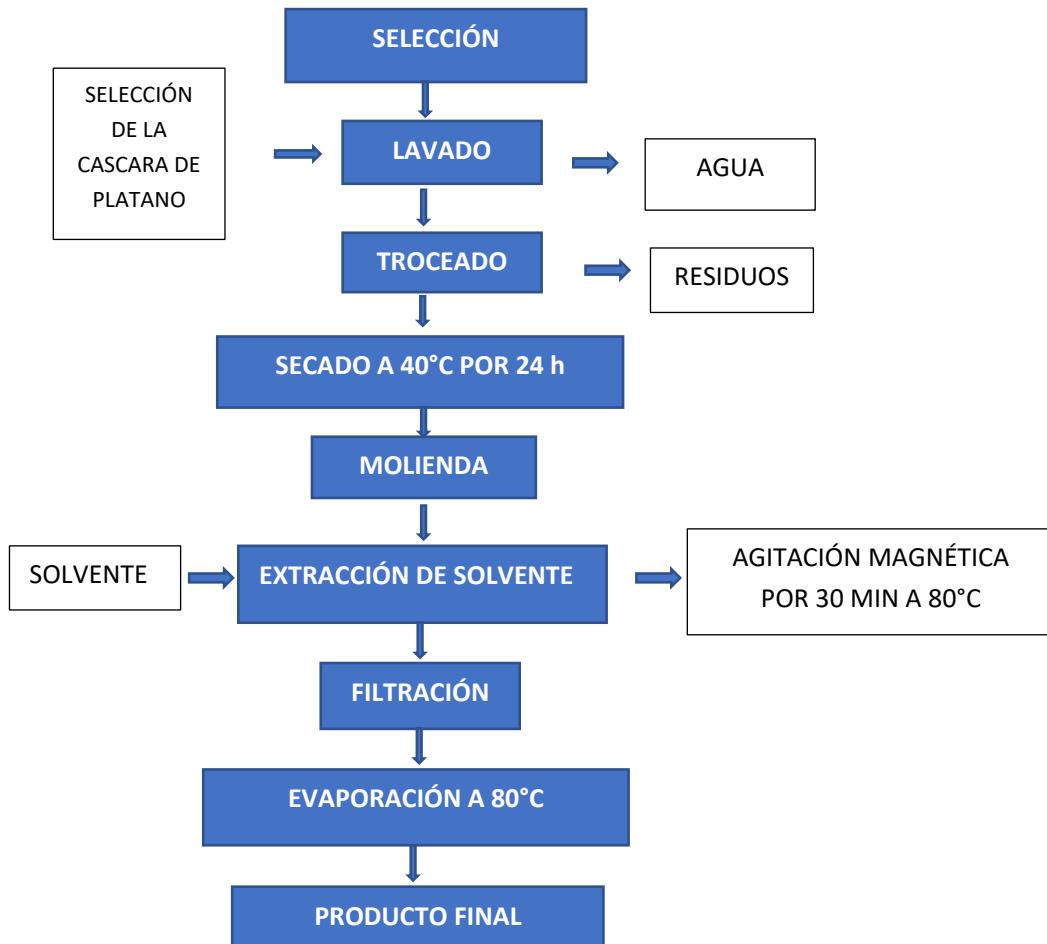
Lavado: La cáscara de plátano se lava con abundante agua para eliminar residuos de pulpa e impurezas adheridas a esta.

Troceado y secado: Las cáscaras son cortadas en rectángulos pequeños.

Secado en la estufa a 40°C por 24 horas.

Molienda: Se lleva a molienda para obtener partículas muy pequeñas y lograr una presentación en polvo.

Fig. 1- 12 Diagrama de bloques del proceso de extracción de taninos por solventes



Fuente: Cedeño Zambrano & Romero García (2017)

Extracción: Las muestras son colocadas en tubos de ensayos para ser asistidas por ultrasonido, mientras que las muestras para agitación magnética son envasadas en Erlenmeyer. Se pesa 25 gramos de cáscara molida, para ambos casos, y se mezclan con los solventes y se realiza la extracción durante los tiempos establecidos.

Filtrado: Se procede a separar la masa sólida del líquido mediante un lienzo fino reteniendo así la mayor parte del residuo sólido. De este proceso se obtiene una solución coloreada.

Evaporación: La solución coloreada es sometida a evaporación para eliminar parte del agua y trazas del solvente que se empleó para la extracción.

Secado: La solución concentrada se coloca sobre una caja Petri formando finas capas sobre esta, la cual se somete ha secado en estufa a 40°C durante 24 horas.

Envasado: El extracto seco es extraído de las cajas Petri y almacenado en recipientes de vidrio o plásticos previamente esterilizados para su posterior almacenamiento a 4°C o temperatura ambiente.

1.4.3 Extracción mecánica

Esta técnica permite obtener los principios activos disueltos en los fluidos propios del material vegetal, los cuales una vez extraídos se denominan jugo. La extracción mecánica se puede realizar: por expresión, la cual consiste en ejercer una presión sobre el material vegetal exprimiéndolo; por calor y mediante incisiones por las que fluyen los exudados de la planta.

1.4.4 Destilación

Esta técnica se basa en la diferente volatilidad de los principios activos de la planta, lo cual permite la separación de los componentes volátiles, como son los aceites esenciales, por ejemplo, de otros que son menos o nada volátiles. Se suelen hacer destilaciones por arrastre de vapor o hidrodestilaciones. Generalmente, se utiliza la destilación por arrastre de vapor que consiste en colocar la muestra en un alambique y someterla a una corriente de vapor saturado o sobrecalefactado. La esencia, así arrastrada, es posteriormente condensada, recolectada y separada por diferencia de densidad de la fracción acuosa.

1.4.5 Extracción con fluidos supercríticos

Un fluido supercrítico es una sustancia, mezcla o elemento que, mediante operaciones mecánicas, se sitúa por encima de su punto crítico. En estas condiciones presenta un gran poder disolvente y una enorme capacidad de penetración en sólidos, lo que permite

el agotamiento rápido, y prácticamente, total del material crudo. Los gases más utilizados son el dióxido de carbono (CO₂) y el butano (C₄H₁₀).

El proceso consiste en colocar el material molido en una cámara de acero inoxidable y hacer circular, a través de la muestra, un fluido en estado supercrítico. Los principios activos son así solubilizados y arrastrados por el mismo, luego es separado modificando la presión o la temperatura.

Finalmente, se obtiene un extracto y un solvente que puede ser reciclado. Aunque esta técnica presenta muchas ventajas como alta selectividad, altos rendimientos, baja contaminación y fácil y sencilla eliminación del gas extractor, el equipo requerido es costoso. Comercialmente, se la utiliza en la descafeinización del café y del té y en la extracción y/o refinamiento de distintos productos naturales.

1.5 Factores que influyen en la extracción de taninos

(Cortez Yañez, 2012) afirma que, hay cuatro factores importantes a considerar:

1.5.1 Tamaño de partícula

El tamaño de las partículas afecta a la extracción de diversas maneras. Cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre sólido y el líquido y, por tanto, más elevada es la velocidad de transferencia de material. Además, menor es la distancia que debe recorrer el soluto por el interior del sólido. Por otra parte, la superficie puede no ser utilizada de una forma totalmente eficaz con un material muy fino, si se dificulta la circulación del líquido, siendo más difíciles la separación de las partículas del líquido y el escurrido del residuo sólido. Generalmente es aconsejable que la gama de partícula sea pequeña, de forma que cada partícula requiera aproximadamente el mismo tiempo para la extracción, en particular, debe evitarse la producción de gran cantidad de material fino, ya que éste puede alojarse en los intersticios de las partículas mayores impidiendo así el flujo del disolvente.

1.5.2 Solvente

El líquido escogido debe ser un buen solvente selectivo, con una viscosidad suficientemente baja para que pueda circular con facilidad. En general se utilizará inicialmente un solvente relativamente puro, pero a medida que la extracción vaya teniendo lugar la concentración de soluto aumentará y la velocidad de extracción disminuirá progresivamente, en primer lugar, debido a la disminución del gradiente de concentración, y en segundo lugar porque la disolución aumentará generalmente su viscosidad. El solvente utilizado debe ser eficaz y económico, generando mayores rendimientos a un bajo costo.

1.5.3 Temperatura

En la mayor parte de los casos, la solubilidad del material que se está extrayendo aumentará con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción. Además, es de esperar que el coeficiente de difusión aumente al elevarse la temperatura mejorándose también así dicha velocidad. En algunos casos, el límite superior de temperatura está determinado por consideraciones secundarias, como por ejemplo en el caso de la extracción de taninos una elevada temperatura ocasionaría la pérdida de taninos y por lo tanto la precipitación de sustancias no tánicas en la extracción.

1.5.4 Agitación del fluido

La agitación del solvente es importante ya que aumenta la difusión de remolino, incrementando por lo tanto la transferencia de material desde la superficie de las partículas hacia la masa de la disolución. Además, la agitación de las suspensiones de pequeñas partículas evita la sedimentación, y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto. Cortez Yañez (2012).

1.6 Solventes para extracción de taninos

Existen diferentes solventes para la extracción de taninos, pero dentro de los que se tiene mayor rendimiento son los alcoholes: Metanol y Etanol, como también el hidróxido de sodio o sulfito de sodio.

a) Metanol

El alcohol metílico – metanol también conocido como alcohol de madera, o raramente alcohol de quemar, es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es CH₃OH (CH₄O).

El metanol es un disolvente de tintas, colorantes, resinas y adhesivos. Se utiliza en la fabricación de película fotográfica, plásticos, jabones textiles, tintes de madera, tejidos con capa de resina sintética, cristal inastillable y productos impermeabilizantes.

b) Etanol

El alcohol etílico – etanol es un compuesto químico orgánico alifático con un grupo funcional hidroxilo, formando parte de la familia de los alcoholes, de fórmula empírica C₂H₆O. El etanol es un líquido volátil e incoloro que tiene un olor intenso muy característico. Cuando se quema produce una llama azul sin humo que no siempre es visible a la luz normal.

Tabla 1- 7 Propiedades físico químico del Etanol

Aspecto	Transparente e incoloro	Punto critico	514 K (241°C)
Densidad	789 kg/ml, 0,789 g/ml	Presión crítica	63 atm
Masa Molar	46,07 g/mol	Viscosidad	1,074 mPa*s a 20°C
Punto de ebullición	351,6 K (78°C)	Acidez	15,9 kpa
Punto de fusión	158,9	Solubilidad	Miscible con agua

Fuente. Valverde Flores (2020)

Las propiedades físicas de etanol se derivan principalmente de la presencia de su grupo hidroxilo y la brevedad de su cadena de carbono. El etanol del grupo hidroxilo es capaz de participar en la vinculación del hidrógeno, que lo

convierte en más viscoso y menos volátil que otros compuestos orgánicos polares de un peso molecular parecido.

El etanol es un disolvente versátil, miscible con agua y con muchos disolventes orgánicos, incluidos los de ácido acético, acetona, benceno, el tetracloruro de carbono, cloroformo, dietiléter, etilenglicol, glicerol, piridina, y tolueno.

Baena & Hernández (2016), afirma que, para la extracción de taninos existen diferentes tipos de solventes: Metanol, etanol, agua, acetona, pero los que tienen mayor rendimiento son los alcoholes.

Según Velásquez Valderrama (2004), utiliza una solución 1:1 metanol-agua obteniendo mayor eficiencia para la cascara de banano verde.

En otro estudio realizado a escala de laboratorio (Valverde Flores, 2020), afirma que la relación de la extracción de taninos resulta más conveniente trabajar con un solvente

Hidroalcohólico etanol y agua, además de un tamaño de partícula entre 0.5-0.25 mm para proporcionar mejores rendimientos en el proceso de extracción a una temperatura tal que permita la obtención en su totalidad del producto de interés.

Los factores que dan mejores resultados en la extracción de taninos de la semilla de uva, escala laboratorio son los siguientes: Temperatura 65 °C, Tiempo de extracción 2 horas, Concentración del solvente 70 %.

1.7 Método cuantitativo de Stiasny

Según Rosales & González (2016), para la cuantificación de taninos se utilizó el método de Stiasny, como una forma indirecta de medir la concentración de compuestos flavonoides presentes, el Número de Stiasny corresponde a la cantidad de poli flavonoides o taninos condensados que reaccionan con formaldehído en medio ácido y por definición, “los poli flavonoides o taninos condensados son polímeros 48 multihidroxilados, basados en unidades flavonoides de 15 carbonos”.

El Número de Stiasny es un método gravimétrico que consiste en agregar 10 ml de formaldehido al 38 % y 5 ml de ácido clorhídrico concentrado a 50 ml de extracto. La mezcla se deja en ebullición y reflujo durante 30 min, el precipitado formado se separa sobre un filtro de vidrio de porosidad media, se lava con agua caliente, se seca a peso constante y se cuantifica. En otros 50 ml de extracto se determina la cantidad de sólidos totales, evaporándolos a sequedad y pesando.

El número de Stiasny es la relación entre el precipitado formado con respecto a los sólidos totales y corresponde al porcentaje de taninos condensados en el extracto. El porcentaje de taninos condensados en la corteza se calcula multiplicando este número en fracción, por el rendimiento en sólidos obtenidos en cada extracto, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{No. Stiasny} = \frac{\text{PP} \times 100}{\text{PR}}$$

Donde:

PP= Peso del precipitado, g

PR=Peso del residuo de 50 ml de extracto, g

$$\text{TC} = \frac{\text{NS} \times \text{ET}}{100}$$

Donde:

TC= Porcentaje de Taninos condesados

NS= Número de Stiasny

ET= Porcentaje de extracto total

Procedimiento

Valverde Flores (2020) presenta el siguiente procedimiento para la cuantificación cuantitativa de taninos:

1. Disolver una muestra de 10 ml de extracto tánico en 50 ml de agua desmineralizada.
2. Tomar una muestra de 50 ml de extracto y mezclar con 5 ml de Ácido clorhídrico concentrado y 10 ml de formaldehido al 37 %.
3. Calentar durante 30 minutos.
4. Filtrar en caliente tarando previamente el papel filtro.
5. Lavar el producto con agua desmineralizada caliente para enjuagar el ácido.
6. Secar y pesar el producto para cuantificar el contenido tánico.
7. En paralelo, secar y pesar 10 ml de extracto tánico para determinar sus sólidos

1.8 Método Cualitativo de extracción de taninos.

Reacción de Cloruro Férrico

Se debe colocar 5 mL de solución al 25% de solución tánica, en un tubo de ensayo añadir gota a gota solución de cloruro férrico al 10%, hasta la aparición de color verde oscuro en la solución.

A las muestras obtenidas de los 27 tratamientos y 4 fases cada una, se les realizó la prueba de reacción de cloruro férrico y se obtuvo resultados positivos que consisten en aparición de color verde oscuro en la solución.

Prueba utilizando solución tánica al 25% y cloruro férrico al 10%. Temperatura: 24°Celsius

Reacción al Acetato de Plomo

Colocar 5 mL de solución tánica al 25% en un tubo de ensayo, seguidamente añadir 10mL de ácido acético al 10% y 5 mL de acetato de plomo trihidratado, hasta la formación de precipitado.

A las muestras obtenidas de los 27 tratamientos y 4 fases cada una, se les realizó la prueba de reacción de Acetato de Plomo y se obtuvo resultados positivos que consiste en formación de precipitado. Prueba utilizando solución tánica al 25% y acetato de

plomo trihidratado al 10%. Temperatura: 24°Celsius. (Chavez Quiñonez, Cano Diaz, & Cerezo Quezada, 2022)

Procedimiento

1. Utilizar 5 ml de extracto tónico y colocarlo en un vaso de precipitación.
2. Añadir 25 ml de agua caliente al extracto, agitar con varilla y dejar enfriar y filtrar.
3. A dos tubos de ensayo de testigo, al primero añadir 3 ml de extracto tónico original sin filtrar y al otro filtrado.
4. Adicionar 3 ml del filtrado a 4 tubos de ensayo y 3 ml del extracto original a 3 tubos de ensayo.
5. Tubo A sin filtrar: añadir 4 a 5 gotas de gelatina enológica.
6. Tubo B filtrado: Agregar 4 a 5 gotas de solución de gelatina al 1% (p/v).
7. Tubo C filtrado: Agregar de 4 a 5 gotas de gelatina-sal (1 % de gelatina y cloruro de sodio al 10%).
8. Tubo D sin filtrar: Agregar 1 ml de ácido clorhídrico concentrado observar la coloración roja.
9. Tubo E filtrado: Agregar 1 ml de ácido clorhídrico concentrado.
10. Tubo F sin filtrar: agregar 3 ml de ácido acético y 2 ml de acetato de plomo hasta que se forme precipitado.
11. Tubo G Filtrado: agregar 1 o 2 gotas de solución cloruro férlico al 1%(p/v).

(Valverde Flores, 2020).

1.9 Diseño factorial o experimental

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Por ejemplo, uno de los objetivos particulares más importantes que en ocasiones tiene un diseño factorial es determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor.

Los factores pueden ser de tipo cualitativo o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.). Cuando se desea examinar el efecto simultaneo de varios factores, sobre una característica de estudio, se presenta el problema del diseño de tratamientos, o la experimentación factorial. Se experimentan dos tipos fundamentales de experimentos factoriales:

Factorial Completo: Ensaya todas las posibles combinaciones de tratamientos que se generan con los distintos niveles de los factores de estudio.

Factorial Incompleto: Ensaya solo algunas de las posibles combinaciones de tratamientos que pueden generarse.

1.9.1 Diseño Factorial a Dos Niveles 2k

Estudia el efecto de la respuesta de "k" factores, cada uno en dos niveles, es por ello que se conocen como factoriales a dos niveles o 2k, con frecuencia se califican a los niveles como superior (+) e inferior (-).

Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar.

El diseño factorial completo requiere que cada uno de los niveles de cada factor se den en todos los niveles de todos los otros factores, lo que da un total de 2k combinaciones de tratamientos.

1.9.2 Análisis del Diseño Factorial 2K

La matriz de diseño factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. Por ejemplo, con k = 4 factores, se forma el diseño factorial $2^4 = 16$, que consiste en 16 combinaciones o puntos experimentales.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2 Parte experimental

2.1 Descripción y análisis de materias primas

Previamente a la realización de los análisis de laboratorio para la materia prima y posteriores pruebas de experimentación en laboratorio, se procede a la toma de muestras de los bananos, para lo cual se hace uso de la técnica del *muestreo*, misma que se detalla a continuación:

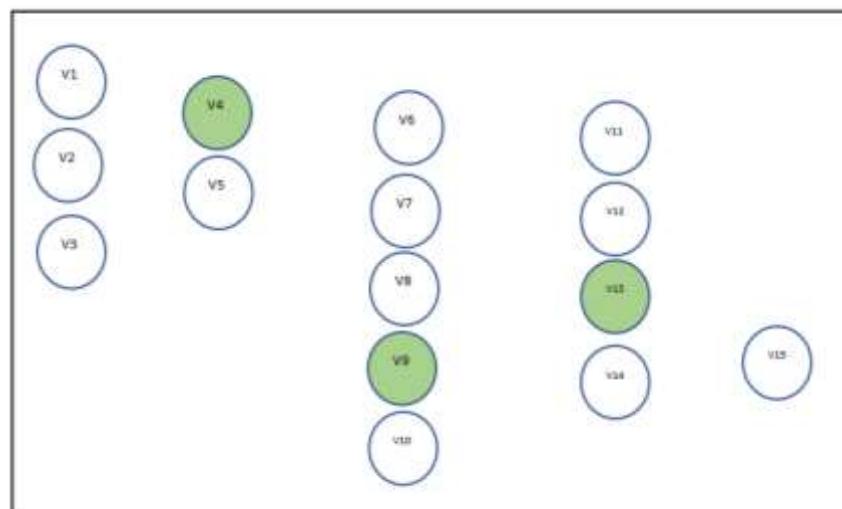
2.1.1 *Muestreo de banano verde (Musa Paradisiaca)*

Se realiza con el fin de obtener muestras representativas de materia prima para los análisis de laboratorio y para la realización de las diferentes pruebas experimentales.

2.1.1.1 *Selección de puntos de muestreo.*

De acuerdo a entrevistas realizadas con vendedoras de banano, el principal centro de abasto de banano es el Mercado Campesino de nuestra ciudad, los cuales distribuyen los bananos a otros mercados y puntos de venta de nuestra ciudad. En este sentido, averiguando y realizando un recorrido por este mercado, se llegó a identificar 8 puntos de venta.

Fig. 2- 1 Mapa selección de la muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2024

Fig. 2- 2 Ubicación del principal centro de abastecimiento de plátano verde *Musa paradisiaca*



Fuente: Google Mapa Tarija Cercado, 2024

2.1.1.2 Criterios de selección de los bananos

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios para la selección de la muestra de bananos:

- ✓ Variedad: La variedad de bananos objeto de investigación es *Musa Paradisiaca*
- ✓ Madurez: El grado de madurez de los bananos es un factor importante para la extracción de taninos, siendo recomendable utilizar los bananos verdes, es decir con un bajo grado de madurez.
- ✓ Apariencia: Se escogerán bananos en un término intermedio, es decir aquellos que no presenten muchos daños físicos, ni tampoco aquellos completamente sanos, ya que estos son destinados a la venta.

2.1.1.3 Plan de muestreo

El presente plan de muestreo contempla los siguientes puntos:

Definición del Objetivo del Muestreo: Obtener una muestra representativa de bananos verdes de los mayoristas del mercado Campesino de la ciudad de Tarija, asegurando que la muestra cubra la variabilidad de los productos ofrecidos.

Población: La población está constituida por 15 puntos de venta ubicados en el mercado Campesino.

Método de Muestreo: Se utilizó un muestreo aleatorio simple, seleccionando 3 puntos de venta al azar de un total de 15 puntos de venta.

Tamaño de la Muestra: Tomando en cuenta las muestras necesarias para análisis de laboratorio, las muestras para experimentar, más sus réplicas se estima una cantidad de 45 bananas. Para lo cual se tomarán 15 unidades de banano de cada uno de los 3 puntos de venta seleccionados, y así obtener una muestra compuesta de 45 unidades.

2.1.1.4 Procedimiento de Muestreo

1. Se asignaron Números a los 15 puntos de venta del 1 al 15.
2. Se utilizó un generador de números aleatorios (calculadora) para seleccionar 3 números diferentes entre 1 y 15. Los números generados fueron: 4, 9, 13.
3. Los puntos de venta asignados a esos números, fueron de los que se compró 15 bananas de cada punto.
4. Se combinó las 3 muestras individuales para obtener una muestra compuesta de 45 unidades.

2.1.1.5 Análisis de calidad.

De la muestra compuesta, se tomó una parte para la realización de los análisis de laboratorio de la materia prima y el resto se utilizó para realizar los diferentes experimentos.

Los análisis físicos y químicos que se realizarán a la materia prima seleccionada para la extracción de taninos son:

Fig. 2- 3 Materia prima seleccionada para el lavado



Fuente: Elaboración Propia, 2024

Características físicas:

- Peso promedio de un banano
- Diámetro
- Largo
- Peso del fruto (sin cáscara)
- Peso de la cáscara

Tabla 2- 1 Parámetros fisicoquímicos de la materia prima

Parámetro	Método
Humedad	NB 313010:05
Densidad	NB 36001:02
Ph	Potenciómetro
Escherichia coli	NB 32005: 02
Mohos y levaduras	NB 32006:03

Fuente: CEANID, 2024

Estos análisis de laboratorio proporcionan la información necesaria sobre la composición, calidad y potencial de los taninos extraídos de la cáscara de banano verde, los cuales fueron analizados en el CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

2.2.1 Selección del método de extracción

La selección del método de extracción se realizó a través de una tabla de criterios, a fin de seleccionar el proceso más conveniente a usar.

Las alternativas a compararse son los procesos de extracción con ácido y sales. Los criterios de valoración se presentan a continuación:

Para la correcta selección del proceso a utilizar para la extracción experimental de taninos a partir de cascara de plátano se efectuó mediante la realización del método de los factores ponderados. Este método realiza un análisis cuantitativo en el que se compara las diferentes alternativas, asignando un peso relativo a cada factor fundamental del proceso que refleje su importancia relativa fijando una escala de calificación.

De acuerdo a la bibliografía se pudo hacer extracción usando diferentes métodos, en este proyecto se tomó en cuenta a evaluación de dos métodos: Extracción por solventes y Extracción por destilación.

Tabla 2- 2 Escala de calificación de puntuación del 1 al 10

Excelente	9-10
Muy buena	7-8
Buena	5-6
Regular	3-4
Mala	1-2

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 2- 3 Matriz de decisión para la selección del proceso de extracción de taninos de cáscara de banana

Factores	Peso asignado (%)	Proceso de extracción por Solventes		Proceso de extracción por destilación	
		Calificación	Valor ponderado	Calificación	Valor ponderado
Simplicidad del proceso	20	10	20	4	8
Calidad de taninos obtenidos	30	10	30	9	27
Requerimiento de reactivos	20	8	16	2	4
Costo de la operación	15	7	11	10	15
Tiempo de extracción	15	5	8	5	8
Total	100		84		62

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Por lo cual, el método de extracción seleccionado en función a la tabla anterior es el **método de extracción por solventes**.

2.3 Diseño factorial

En el proceso de extracción de taninos de la cáscara de bananos, se identificaron tres etapas principales sobre las cuales se debe experimentar y definir el tipo de diseño y estudio que se debe realizar sobre las mismas. Estas etapas son:

- Secado de las cáscaras de banano.
- Extracción con solventes.
- Molienda de la cáscara seca.

De estas etapas, la más importante para la presente investigación y sobre la cual se aplicará el diseño de experimentos, es la etapa de extracción con solventes. El desarrollo del presente diseño factorial, se describe a continuación:

2.3.1 Objetivos del diseño experimental.

Para llevar adelante la parte experimental, se plantean los siguientes objetivos:

- ✓ Construir la curva de secado para la cáscara de banano y obtener el tiempo experimental de secado.
- ✓ Determinar las condiciones óptimas para la extracción de taninos a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) utilizando una mezcla de agua y etanol como solvente.
- ✓ Realizar pruebas de molienda de la cáscara seca de banano con el fin de obtener diferentes tamaños de partículas.

2.3.2 Elección de los factores y niveles

Las variables a investigar, se identifican en función a cada una de las etapas principales antes mencionadas.

2.3.2.1 Secado de las cáscaras de banano

En esta etapa del proceso de obtención de taninos, solamente se realizará el trazado de la curva de secado. Para lo cual, se utilizó una secadora en bandejas para mantener la temperatura constante durante el tiempo de secado

Las variables identificadas son las siguientes:

Variables Dependientes:

1. **Tiempo de secado:** El tiempo durante el cual se seca la cáscara es importante, ya que secados muy prolongados o insuficientes pueden afectar el rendimiento de la extracción.
2. **Humedad residual:** El nivel de humedad que queda en la cáscara después del secado es crucial, ya que demasiada humedad puede interferir con la extracción de taninos.

Variables de Control:

1. **Tamaño de las rodajas:** El tamaño de las rodajas o su superficie, influye grandemente en la eficiencia de la extracción de taninos. Según referencias bibliográficas se fija un tamaño de cáscaras de 5 por 5 mm.

2. **Temperatura de secado:** La temperatura a la que se seca la cáscara es crucial, ya que puede afectar la estabilidad y preservación de los taninos. Según (Cedeño Zambrano & Romero García, 2017). Se fija una temperatura de 40 °C, en un tiempo de 8 horas en base a pruebas preliminares.
3. **Método de secado:** El método utilizado para secar la cáscara puede influir en la calidad de los taninos. Por ejemplo, el secado al aire libre podría degradar algunos compuestos, mientras que el secado en estufa, preserva mejor la cascara seca. De acuerdo a los equipos existentes en nuestra Universidad, el método de secado a usar es el secado en un horno.
4. **Velocidad del aire:** El equipo no cuenta con una fuente de regulación variable de aire.

2.3.2.2 Molienda

En esta etapa del proceso de obtención de taninos, la molienda de la cáscara de banano es muy importante para asegurar que la misma cuente con el tamaño adecuado de partículas.

Por lo cual, las variables identificadas son:

Variable Dependiente:

1. **Tamaño de Partícula:** El tamaño de las partículas resultantes de la molienda es crítico, ya que afecta la superficie de contacto con el solvente y, por lo tanto, la eficiencia de la extracción de taninos. Partículas gruesas (e.g., >1 mm), Partículas medianas (e.g., 0.5 mm - 1 mm), Partículas finas (e.g., <0.5 mm).

Variables de Control:

1. **Método de Molienda:** El método de molienda tiene su influencia en cuanto al incremento de temperatura que este pueda generar; tomando en cuenta este aspecto, se escoge como método de molienda un molino doméstico, por el motivo que por pruebas preliminares otros martillos tienden a disminuir demasiado el tamaño de la partícula.
2. **Humedad Residual en la cáscara:** Aunque el secado reduce la humedad, la cantidad residual de humedad antes de la molienda puede influir en la eficiencia

de esta etapa. Factores a experimentar. Baja humedad residual (e.g., <5%), Media (e.g., 5%-10%).

3. **Tamizado:** Para el tamizado se usarán las partículas de las mallas 0,25 mm y 0,50 mm, según (Valverde Flores, 2020), para la extracción se obtiene mayor cantidad de taninos de ese tamaño de partícula. el tamaño adecuado de partículas para realizar una mejor extracción de taninos es el que oscila entre 0,25 a 0,5 mm, es decir partículas medianas.

2.3.2.3 Extracción

Esta etapa del proceso de obtención de taninos, es la más importante, a la cual se dirige mi tema de investigación y a la que se aplicará el diseño factorial.

En la selección de variables para realizar el modelo de diseño factorial, se tomaron en cuenta ciertas restricciones que impiden el asumir una mayor cantidad de variables y niveles, como ser:

- El elevado costo de los análisis de laboratorio para el tanino obtenido, mismos que se tienen que realizar en laboratorios especializados que hay en la ciudad de La Paz.
- La cantidad de muestras a analizar, que al ser elevadas los costos y tiempo también se incrementan considerablemente.

Por lo cual, las variables identificadas son:

Variables Independientes (Factores a Evaluar):

1. **Concentración tanino-solvente:** Los niveles a experimentar son: 70% Etanol y 30% Agua.
2. **Tiempo de Extracción:** Niveles a experimentar: 1 h y 30 min y 2 horas.
3. **Temperatura: niveles a experimentar:** 50 °C y 65°C.

Variables Dependientes (Medidas de Resultado):

1. **Rendimiento de Taninos Extraídos:** Medición de la cantidad de taninos en el extracto mediante técnicas como el método del Número de Stiasny.

2. **Pureza de los Taninos:** Análisis de la composición química del extracto para determinar la concentración relativa de taninos en comparación con otros compuestos.

Variables de control:

1. **Agitación:** La agitación del equipo se mantuvo constante usando una agitación moderada (e.g., 200 rpm).

2.3.4 Diseño Factorial

En función a las principales variables identificadas en la etapa de extracción de tanino a través de solventes. Se plantea un diseño factorial: 2^3 de 2 niveles y 3 factores.

2.3.4.1 Factores

Temperatura

Los estudios realizados reportan valores de temperaturas desde los 50°C hasta los 65°C para la extracción del colorante natural a partir de la cáscara de plátano.

Concentración de Etanol

La concentración de la mezcla tanino-solvente, es una variable que permite conocer la cantidad de taninos extraídos a diferentes cantidades de solvente con el fin de utilizar la cantidad óptima. Se utiliza según fuentes bibliográficas la relación de 1:5 de soluto solvente, con Etanol al 70% y 90%.

Tiempo de extracción

La variable tiempo relaciona la cantidad de taninos a diferentes intervalos de tiempo de tal manera que se optimice las horas de trabajo, entre 90 y 120 min.

2.3.4.2 Niveles

Para determinar los niveles de los factores, se trabajó con 2 niveles, en cada nivel con tres variables: Concentración, Temperatura y Tiempo, se ejecutó la combinación correspondiente.

Tabla 2- 4 Niveles de los factores

Nivel	Concentración	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)
1	Etanol 70%	90	50
2	Etanol 90%	120	65

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 2- 5 Codificación de las variables

Nivel	Concentración	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	-1
2	+1	+1	+1

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Variable respuesta

La variable de respuesta VR, es el rendimiento sobre la concentración de taninos después de la extracción.

Número de combinaciones:

$$N^{\circ} \text{ variables} = 3 \text{ y Niveles} = 2$$

$$N^{\circ} \text{ experiencias} = 2^3 = 8$$

Se considera dos réplicas con el fin de obtener resultados significativos y válidos. El número de experimentos totales:

$$N^{\circ} \text{ exp} = 2^3 \times 2 = 16$$

Los niveles son representados por (-1) y (+1) donde: (-1) representa el nivel bajo y (+1) el nivel alto de cada variable, la combinación de las variables o interacción. Para el proyecto se consideró las tres variables estudiadas con la siguiente representación numérica, para su análisis ANOVA.

Tabla 2- 6 Datos Experimentales de la extracción de taninos

<i>Nº</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	<i>Variable 3</i>	<i>Concentración (%)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
1	-1	-1	-1	Etanol 70%	90	50
2	+1	-1	-1	Etanol 90%	90	50
3	-1	1	1	Etanol 70%	120	50
4	+1	1	-1	Etanol 90%	120	50
5	-1	-1	1	Etanol 70%	90	65
6	+1	-1	1	Etanol 90%	90	65
7	-1	1	1	Etanol 70%	120	65
8	1	1	1	Etanol 90%	120	65

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.4 Equipos y materiales

Los equipos y materiales utilizados en la realización de las pruebas experimentales, se detalla a continuación.

2.4.1 Equipos

En la siguiente Tabla, se detallan los equipos utilizados en la parte experimental para obtener tanino.

- Evaporador rotativo (Rota-vapor): Este equipo se utilizó para evaporar el etanol de la mezcla con el extracto del colorante, se calibra la variable de 40 °C para la evaporación y obtener un colorante más concentrado.
- Balanza analítica electrónica: La balanza analítica se utiliza para el pesaje de la muestra durante todo el proceso de la extracción de tanino y tiene una precisión de 0,001 gramos.
- Tamiz vibratorio – Rota de tamices: Este equipo permitió, separara y clasificar la cascara molida según su tamaño de partícula en los diferentes tamaños de mallas

- Secador de Bandejas: Este equipo permitió reducir la humedad de la materia prima, produciendo un secado rápido y uniforme.
- Licuadora-Domestica: Se utilizó una licuadora doméstica que permitió obtener una partícula de diferentes tamaños, ya que la materia prima en seco es muy delicada.
- Calentador con agitador magnético: Este equipo permitió la extracción del tanino, calentando la mezcla de solución de Etanol y Materia prima agitándolos constantemente facilitando la extracción sólido-líquido, hasta obtener el componente deseado.

2.4.2 *Materiales*

En la siguiente Tabla 2-7, se detallan los materiales utilizados en la parte experimental:

Tabla 2- 7 Materiales utilizados en el proceso de obtención de extracto tánico

Material	Tipo	Capacidad/Tamaño	Cantidad
Vaso Precipitado	Vidrio	200 ml y 100 ml	2
Probeta	Vidrio	100 ml	1
Matraz Erlenmeyer	Vidrio	100 ml	5
Crisol	Porcelana		1
Pipeta	Vidrio	10 ml	1
Termómetro	Vidrio	(-10 °C a 200 °C)	1
Espátula	Metálico	Pequeño	1
Frascos ámbar	Vidrio	50 ml y 100 ml	9
Tubos de ensayo	Vidrio	Ns	12
Bandeja	Plástico	Mediano	1
Papel filtro		Pliego	1
Papel Aluminio		Pliego	1
Bolsas	Polietileno	Pequeñas y grandes	20
Tela	Lienzo	1 m	1
Cuchillo	Metálico	Mediano	1

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.4.3 Reactivos

En este proyecto el solvente seleccionado es el Etanol, el cual es usado en la parte de la extracción y los demás reactivos son usados en pruebas cualitativas y cuantitativas. En la siguiente Tabla 2-8, se detallan los reactivos utilizados:

Tabla 2- 8 Solventes reactivo utilizado para la obtención de extracto tánico

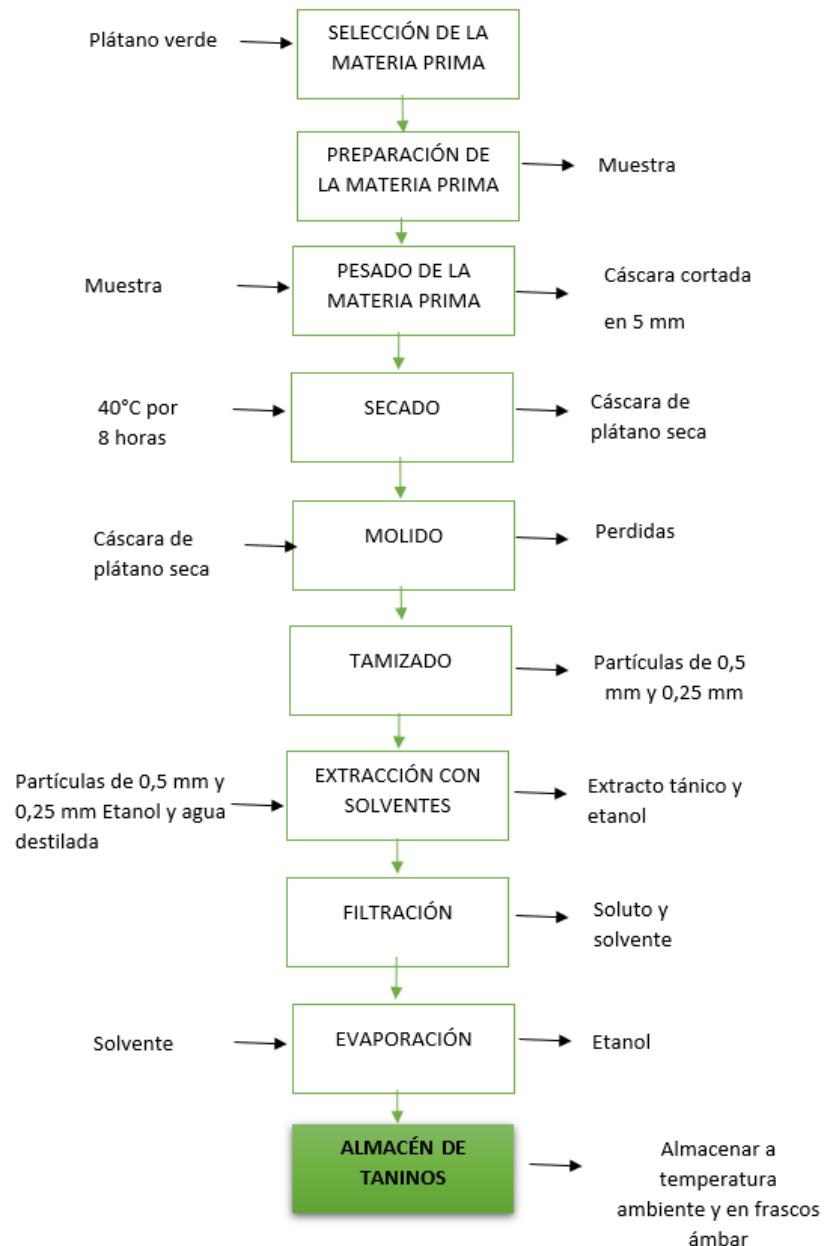
	Descripción	Unidad	Cantidad
Solventes	Etanol	L	5
	Agua destilada	L	5
Reactivos	Cloruro de sodio	Kg	0,5
	Ácido clorhídrico	Ml	200
	Cloruro férrico	G	10
	Formaldehido 37%	Ml	250
	Gelatina enológica	G	50
	Acetato de plomo	G	50
	Ácido acético	Ml	10

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5 Proceso de obtención de tanino

El proceso de obtención de tanino a partir de la cáscara de banano se ilustra en el diagrama de flujo adjunto, adaptado específicamente para aprovechar los equipos y materiales disponibles en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. A continuación, se describe detalladamente cada etapa del proceso, fundamentada en pruebas preliminares realizadas con el objetivo de determinar los parámetros óptimos para cada fase del procedimiento.

Fig. 2- 4 Proceso de obtención de tanino



Fuente: Elaboración Propia, 2024

2.5.1 Selección de la materia prima

Se recolectaron plátanos verdes mediante muestreo aleatorio simple en el mercado campesino, principal centro de abastecimiento de este fruto en la ciudad.

Fig. 2- 5 Materia prima seleccionada



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.2 Preparación y acondicionamiento de la materia prima

Las bananas seleccionadas fueron lavadas con agua destilada para evitar alteraciones en el pH. Posteriormente, se separó la pulpa de la cáscara, la cual fue cortada en fragmentos de aproximadamente 0,5 cm de longitud y 0,5 cm de ancho. Para verificar las dimensiones, se utilizó un vernier, obteniendo medidas aproximadas de 0,5 mm de ancho y 0,5 mm de largo.

Fig. 2- 6 Cortado de la cascara de banano verde



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Para la medición del ancho y largo de la materia prima cortada se consideró 0,5 mm de ancho y 0,5 mm de largo. Se utilizó un vernier para tener una medida más próxima.

Fig. 2- 7 Medición de ancho y largo de la materia prima cortada



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.3 Pesado de la materia prima

De 18 plátanos se obtuvo un peso total de cáscara fresca de 1491 g. Cada lote fue pesado antes de ingresar al secador.

2.5.4 Secado

Para secar la cascara de banana ya cortada previamente, se hizo pruebas preliminares en las secadoras disponibles:

- La secadora al vacío, la cual requirió más de 48 horas para completar el secado, provocando oxidación de la cáscara y pérdida de propiedades. Por ello, se descartó su uso.

Fig. 2- 8 Cáscara de banano verde cortado en la secadora al vacío



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Fig. 2- 9 Cáscara de banano verde cortado en la secadora de bandejas



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Fig. 2- 10 Cáscara de banano seca



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.5 Molienda y tamizado

Se utilizó un molinillo de cuchillas de carácter doméstico es utilizado para la reducción de tamaño de la materia prima, porque habiendo realizado pruebas preliminares de molienda con los molinos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad se obtuvieron partículas muy pequeñas que en el proceso de extracción no serán de utilidad y de esta manera se optó por otra moledora que aumenta el tamaño de la partícula para trabajar en la siguiente etapa de contacto con el solvente, facilitando así el proceso de extracción. Este equipo está provisto de tres aspas metálicas.

Para el tamizado se utilizó un tamiz vibratorio marca, Orto – Alresa se utilizó para la clasificación granulométrica de la muestra. Es un equipo de gran estabilidad sin necesidad de sujetar a la mesa de trabajo, está compuesto por un juego de mallas de acero inoxidable de 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,063 mm y una bandeja de recipiente de muestra.

Fig. 2- 11 Cáscara de plátano de 0,25 mm y 0,5 mm



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Fig. 2- 12 Cáscara de plátano tamizado en las diferentes mallas



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Se almacenó la cáscara de plátano ya seca y tamizada a 0,25 mm y 0,50 mm y se almacenó en bolsas de polietileno.

2.5.6 Extracción con solventes

En la extracción con solventes se realizaron dos pruebas principales; la primera usando el tamaño de partículas y el segundo la concentración del solvente:

a) Pruebas del tamaño de partículas se realizaron pruebas experimentales con 2 tamaños de partículas

-Partículas de 0.063 mm

-Partículas de 0.25 mm

Para este efecto se prepararon 2 soluciones de etanol una al 70% y otra al 90%.

Se realizó la primera prueba con una solución de etanol al 70% utilizando partículas de tamaño de 0.16 mm, y se realizó una repetición; siendo los mismos resultados en ambas pruebas, es decir se llegó a formar una especie de masa de coloración café.

Fig. 2- 13 Solución del 70% preparada con partículas de 0,063 mm



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Posteriormente para identificar el efecto de concentración se trabajó con una solución de etanol al 90% y se ejecutó una repetición.

Los resultados obtenidos en esta prueba, fueron similares a la anterior; es decir se volvió a formar una especie de masa de color café, por lo que podemos concluir que no hay efecto de la concentración de etanol sobre el tamaño de partículas.

Fig. 2- 14 Solución del 90% preparado con partículas de 0,063 mm



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Función a esto se pasó a trabajar con partículas más grandes de 0,25 mm y 0,50 mm.

Al realizar la primera prueba con una solución de etanol de 70% se puede observar, que ya no se forma una masa. Lo mismo ocurrió al trabajar con la solución de etanol al 90%, donde tampoco se volvió a formar una masa.

Por lo que se descartó el uso de partículas finas, en el proceso de extracción, debido a la formación de una masa.

b) Pruebas de concentración de etanol

- El desarrollo experimental de esta etapa se realizó de la siguiente manera.
- Se tomó 20g de banano molido (partículas de 0.25 mm y 0.5mm).
- Se ejecutó la concentración de la solución de etanol en tres cantidades: 50%, 70%, 90%.
- Para lo cual se preparó la solución usando etanol al 96%, el cual se calculó mediante fórmula la cantidad de etanol y agua destilada y se utilizó la ayuda del alcoholímetro.

- Se tomó 20 g de banano molido y 100 ml de solución de etanol preparados y posteriormente se agregaron en el vaso precipitado de 200 ml.
- Esta mezcla se llevó a un agitador magnético donde se tomó en cuenta el tiempo y la temperatura de la mezcla.
- La cantidad de velocidad en el agitador se mantuvo constante durante 200 rpm.

Solución de 50 % de etanol

La primera prueba se realizó con solución de etanol al 50%, colocando partículas de 0,25 mm y 0,50 mm, la mezcla se agitó por un tiempo de 2 horas, donde pudo observarse que no hubo ningún cambio de color se mantuvo en un café y no se tornó al color verde que según bibliografía debió volverse un color verde oscuro.

Fig. 2- 15 Solución preparada con 50% de etanol y partículas de 0,25 mm y 0,50 mm



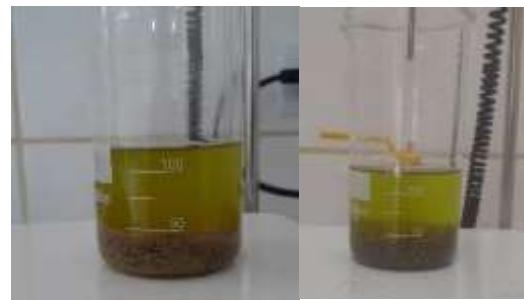
Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Solución de 70% de etanol

La segunda prueba se tomó la solución preparada de 70% de etanol, se utilizaron partículas de 0,25 mm y 0,50 mm, el cual se mantuvo con una velocidad de 200 rpm constante, pero hubo variaciones según el diseño experimental:

- *En tiempo de 1 hora y 30 min y de 2 horas temperatura.*
- *En temperatura de 50°C y 65 °C.*

Fig. 2- 16 Solución preparada con 70% de etanol, y partículas de 0,25 mm y 0,50 mm



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Obteniendo resultados favorables, donde se observan cambios de color en tonalidades verdes, que nos permite concluir que sí hubo una extracción de tanino y para saber la cantidad se efectuará posteriormente un método de cuantificación.

Solución de 90% de etanol

La segunda prueba se tomó la solución preparada de 90% de etanol, se utilizaron partículas de 0,25 mm y 0,50 mm, el cual se mantuvo con una velocidad de 200 rpm:

- *En tiempo de 1 hora y 30 min y de 2 horas temperatura.*
- *En temperatura de 50°C y 65 °C.*

Fig. 2- 17 Solución preparada al 90% de etanol con partículas de 0,25 mm y 0,50 mm



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Obteniendo resultados nuevamente favorables, donde hay cambios de color obteniendo un color verde oscuro, lo cual nos indica que sÍ hubo una extracción de tanino y para conocer la cantidad se efectuó posteriormente un método de cuantificación.

Fig. 2- 18 Extracción de taninos con el solvente durante la agitación, el extracto tánico



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.7 Filtración

En esta etapa se preparó la muestra para separar su fase sólida que es la materia prima y líquida que es el producto, para lo cual se utilizó un embudo bucher y papel filtro, por un tiempo de 20 minutos. Hasta obtener la mayor cantidad de tanino, para la siguiente etapa de evaporación.

Fig. 2- 19 Filtración del extracto tánico



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.8 Evaporación

Se procede a la evaporación del solvente etanol del extracto líquido hasta concentrar el extracto tónico, con el equipo de rota evaporador donde los parámetros de control son:

- Temperatura de Baño: 40 °C
- RPM: 45
- Tiempo 10 min

Fig. 2- 20 El extracto tónico en el rota-vapor



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.9 Centrifugado

La centrifugación de los extractos tónicos se realiza para la separación de sólidos y cantidades de grasa en el extracto, donde los parámetros de control son 2000 rpm y un tiempo de 10 minutos

Fig. 2- 21.Centrifugación del extracto tónico



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.5.10 Almacenamiento del tanino

El extracto tánico obtenido se debe almacenar en botellas de vidrio color ámbar, almacenado a 4 °C, esto debido a su sensibilidad a la luz y se mantiene refrigerado para una mejor conservación.

Fig. 2- 22 Almacenamiento del extracto tánico



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.6 Análisis cuantitativo

Para el análisis cuantitativo se determinó el número de Stiasny, que indicó la cantidad de poli flavonoides o taninos condensados que reaccionan con formaldehído en medio ácido. Mediante la relación entre el precipitado formado respecto a los sólidos totales y corresponde al porcentaje de taninos condensados del extracto.

Fig. 2- 23 Preparación de taninos



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Para el procedimiento inicialmente se preparó los reactivos (formaldehido al 37 %, ácido crítico, se preparó la muestra con dilución y agua destilada, se calentó la muestra tánica hasta la reacción con los ácidos preparados y por último se llevó a secar la muestra para obtener en seco el extracto tánico y pesado.

El cálculo se efectuó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{No. Stiasny} = \frac{\text{PP} \times 100}{\text{PR}}$$

Donde:

PP= Peso del precipitado, g

PR=Peso del residuo de 50 ml de extracto, g

$$\text{TC} = \frac{\text{NS} \times \text{ET}}{100}$$

Donde:

TC= Porcentaje de Taninos condesados

NS= Número de Stiasny

ET= Porcentaje de extracto total

2.7 Análisis cualitativos

Para poder identificar la presencia de taninos se debe realizar la preparación de la solución con 5mL de extracto tánico y 20 de agua, y añadir respectivamente la cantidad de solución en cada tubo de ensayo ya codificado e ir adicionando respectivamente los reactivos ya preparados a los tubos de ensayo. Donde se debe identificar color y formación de precipitado, el cual fue verificado mediante el reconocimiento visual de 10 personas con encuestas.

En el Anexo D, se puede ver la encuesta del Análisis cualitativo y fotografías de los panelistas y de los reactivos que se utilizaron.

Fig. 2- 24 Preparación de reactivos para pruebas cualitativas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Fig. 2- 25 Extracto tánico preparado con los reactivos para pruebas cualitativas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.7.1 Prueba de precipitado con Gelatina enológica sin filtrar

Esta prueba presenta formación de precipitado que se puede apreciar en la siguiente Fig. 2-26.

2.7.2 Prueba de precipitado con Gelatina enológica filtrado

Esta prueba presenta formación de precipitado que se puede apreciar en la siguiente Fig. 2-26.

2.7.3 Prueba de precipitado con Gelatina enológica-Cloruro de Sodio filtrado

Esta prueba presenta formación de precipitado que se puede apreciar en la siguiente Fig. 2-26.

Fig. 2- 26 Formación de precipitado con Gelatina enológica-Cloruro de sodio



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.7.4 Prueba color con Ácido Clorhídrico HCl sin filtrar y filtrado

La siguiente prueba presenta una coloración que tiende a un color rojo y naranja.

Fig. 2- 27 Prueba de coloración con Ácido Clorhídrico



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.7.5 Prueba de color con Cloruro férrico filtrado

La siguiente prueba presenta una coloración que tiende a un color verde.

Fig. 2- 28 Prueba de coloración del Cloruro férrico



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.7.6 Prueba de precipitado con Acetato de plomo Ácido acético sin filtrar

La siguiente prueba presenta una coloración que tiende a formar un precipitado.

Fig. 2- 29 Formación de precipitado con acetato de plomo-ácido acético



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.7.7 Prueba de color con Acetato de plomo y Ácido acético sin filtrar

Esta prueba presenta una coloración café y formación de poco precipitado.

Fig. 2- 30 Prueba de formación de color de acetato de plomo-Ácido Acético



Fuente: Elaboración propia, 2024

2.7.8 Panel calificador de pruebas cualitativas

Para llenar las encuestas de las pruebas cualitativas se consideró tomar en cuenta un panel de expertos. (Ver Anexo D).

Fig. 2- 31 Llenado de encuestas para pruebas cualitativas de extracto tánico

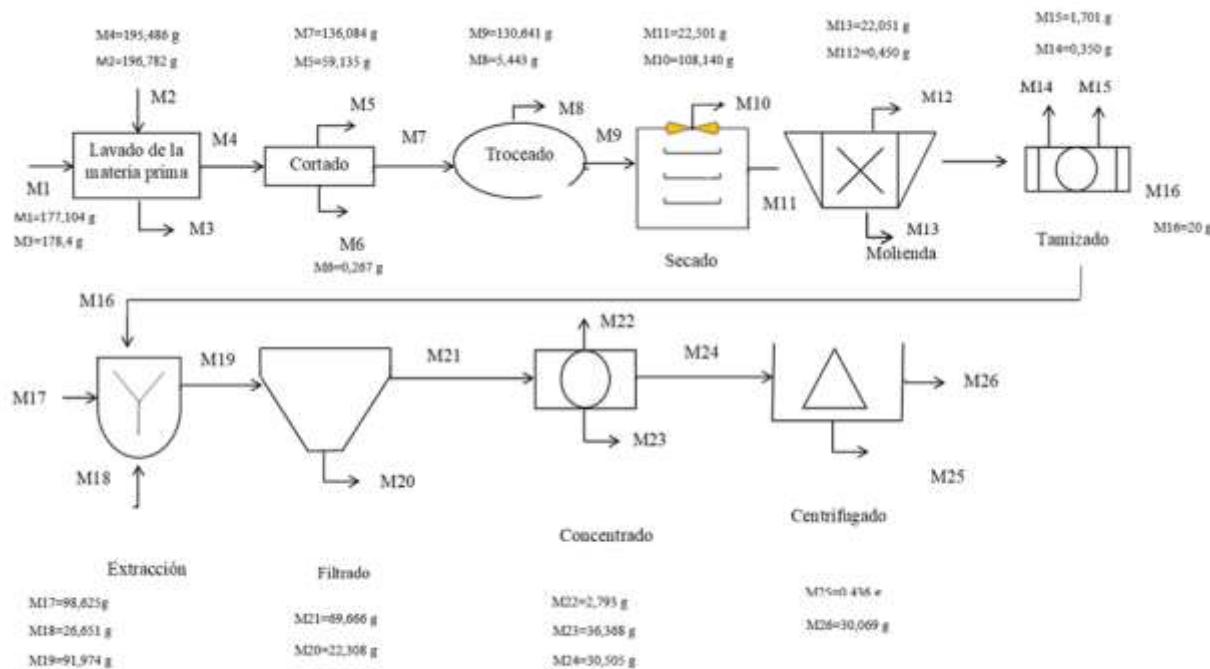


Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.8 Balance de materia y energía

2.8.1 Balance de materia

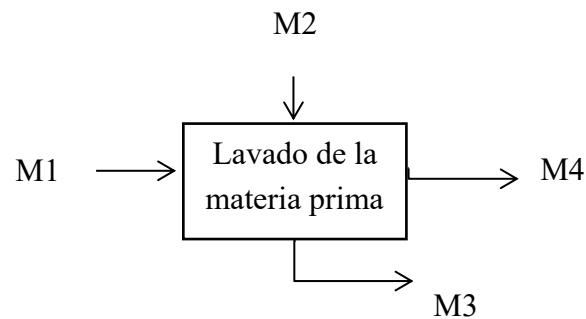
Fig. 2- 32 Resumen del balance de materia



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Balance de Materia

Corriente Etapas de Proceso para la Obtención de Extracto Tánico Concentrado



Operación OP0-Lavado de la materia prima

El balance global del lavado de la materia prima es:

$$M1 + M2 = M3 + M4 \quad (\text{Ecuación 3-17})$$

Donde:

$M1$ = Masa total recolectada de banano = 177,104 g

$M2$ = Masa de agua = 196,782 g

$M3$ = Masa de agua y pérdidas de Banano = ?

$M4$ = Masa de banano lavada = 195,486 g

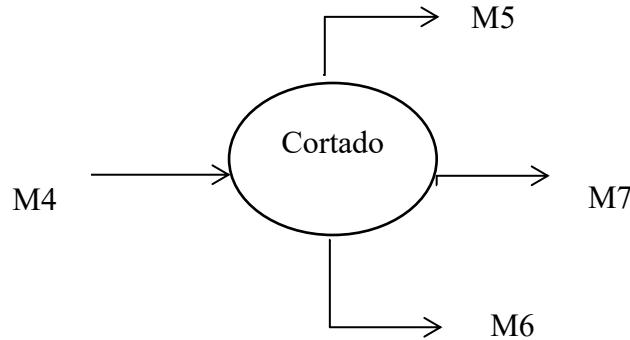
Los valores de las corrientes $M1$, $M2$ y $M4$ se conoce, mientras que la corriente $M3$ no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-17 se despeja la corriente $M3$ y se calcula este.

$$M3 = M1 + M2 - M4$$

$$M3 = 177,104 \text{ g} + 196,782 \text{ g} - 195,486 \text{ g}$$

$$M3 = 178,4 \text{ g}$$

Operación OP1-Cortado



El balance global en la etapa de cortado es:

$$M4 = M5 + M6 + M7 \quad (\text{Ecuación 3-18})$$

Donde:

$$M4 = \text{Masa de banano lavada} = 195,486 \text{ g}$$

$$M6 = \text{Masa de cáscara de banano perdida} = ?$$

$$M5 = \text{Masa de pulpa de banano} = 59,135 \text{ g}$$

$$M7 = \text{Masa de cáscara de banano cortado} = 136,084 \text{ g}$$

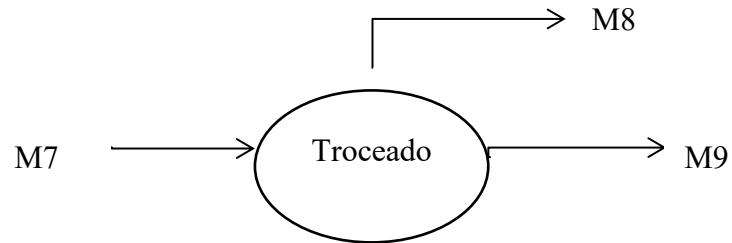
Los valores de las corrientes $M4$, $M5$ y $M7$ se conoce, mientras que la corriente $M6$ no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-18 se despeja la corriente $M6$ y se calcula este.

$$M6 = M4 - M5 - M7$$

$$M6 = 195,486 \text{ g} - 59,135 \text{ g} - 136,084 \text{ g}$$

$$M6 = 0,267 \text{ g}$$

Operación OP2-Troceado



El balance global en la etapa de troceado es:

$$M7 = M8 + M9 \quad (\text{Ecuación 3-19})$$

Donde:

$$M7 = \text{Masa de cascara de banano cortado} = 136,084 \text{ g}$$

$$M8 = \text{Masa de pérdida en el troceado} = ?$$

$$M9 = \text{Masa de cáscara para el secado} = 130,641 \text{ g}$$

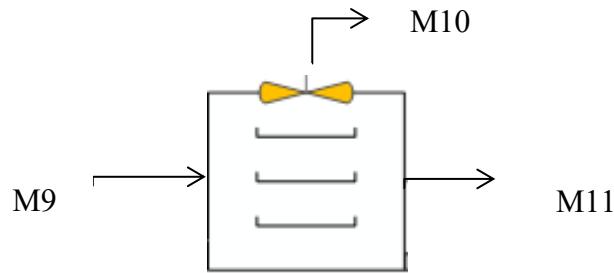
Los valores de las corrientes $M7$ y $M9$ se conoce, mientras que la corriente $M8$ no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-19 se despeja la corriente $M8$ y se calcula este.

$$M8 = M7 - M9$$

$$M8 = 136,084 \text{ g} - 130,641 \text{ g}$$

$$M8 = 5,443 \text{ g}$$

Operación OP3-Secado de la banana troceada



El balance global en la etapa de secado de la banana troceada es:

$$M9 = M10 + M11 \quad (\text{Ecuación 3-20})$$

Donde:

Humedad inicial de la cáscara mojada = 84,293 %

Humedad final de secado = 8,805 %

$M9 = \text{Masa de cáscara para el secado} = 130,641 \text{ g}$

$M11 = \text{Masa de vapor de agua} = ?$

$M11 = \text{Masa de cáscara seca} = 22,501 \text{ g}$

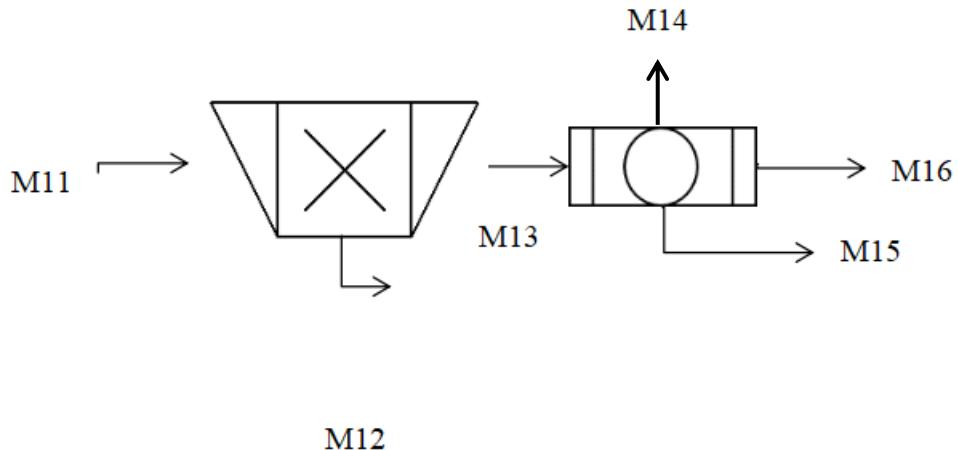
Los valores de las corrientes $M9$ y $M11$ se conoce, mientras que la corriente $M10$ no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-20 se despeja la corriente $M10$ y se calcula este.

$$M10 = M9 - M11$$

$$M10 = 130,641 \text{ g} - 22,501 \text{ g}$$

$$M10 = 108,140 \text{ g}$$

Operación OP4-Molienda y Tamizado



El balance global en la etapa de molienda y tamizado es:

$$M11 = M12 + M14 + M15 + M16 \quad (\text{Ecuación 3-21})$$

Donde:

$M11$ = Masa de cáscara seca = 22,501 g

$M12$ = Masa de pérdida en la molienda =?

$M13$ = Masa molida = 22,051 g

$M14$ = Masa de pérdida en el tamizado =?

$M15$ = Masa de rechazo en el tamizado = 1,701 g

$M16$ = Masa final del tamizado = 20 g

Balance global en la molienda:

$$M_{11} = M_{12} + M_{13} \quad (\text{Ecuación 3-22})$$

Los valores de las corrientes M_{11} y M_{13} se conoce, mientras que la corriente M_{12} no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-22 se despeja la corriente M_{12} y se calcula este.

$$M_{12} = M_{11} - M_{13}$$

$$M_{12} = 22,501 \text{ g} - 22,051 \text{ g}$$

$$M_{12} = 0,450 \text{ g}$$

Balance global en el tamizado:

$$M_{13} = M_{14} + M_{15} + M_{16} \quad (\text{Ecuación 3-23})$$

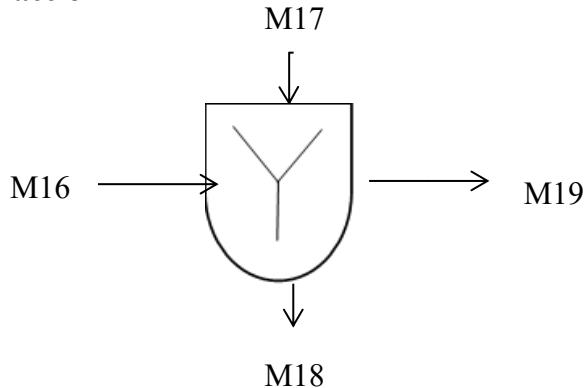
Los valores de las corrientes M_{13} , M_{15} y M_{16} se conoce, mientras que la corriente M_{14} no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-23 se despeja la corriente M_{14} y se calcula este.

$$M_{14} = M_{13} - M_{15} - M_{16}$$

$$M_{14} = 22,051 \text{ g} - 1,701 \text{ g} - 20 \text{ g}$$

$$M_{14} = 0,350 \text{ g}$$

Operación OP5-Extracción



El balance global en la etapa de extracción es:

$$M16 + M17 = M18 + M19 \quad (\text{Ecuación 3-24})$$

Donde:

$M16$ = Masa final del tamizado = 20 g

ρ_{etanol} = Densidad del etanol = 0,789g/ml

V_{etanol} = 125 ml

$M17$ = Masa del etanol

$$\rho_{etanol} = \frac{M17}{V_{etanol}}$$

$$M17 = V_{etanol} * \rho_{etanol} = 125 \text{ ml} * 0,789 \text{ g/ml}$$

$$M17 = 98,625 \text{ g}$$

$M18$ = Masa de pérdida de etanol, agua y otros.

$M19$ = Masa final del extracto (solvente y masa del tamizado).

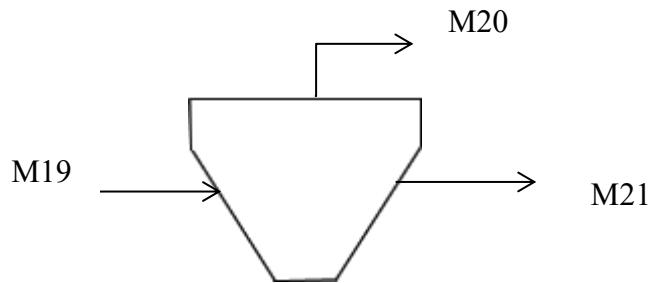
Los valores de las corrientes M16, M17 y M19 se conoce, mientras que la corriente M18 no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-24 se despeja la corriente M18 y se calcula este.

$$M18 = M16 + M17 - M19$$

$$M18 = 20 \text{ g} + 98,625 \text{ g} - 91,974 \text{ g}$$

$$M18 = 26,651 \text{ g}$$

Operación OP8-Filtrado



El balance global en la etapa de filtrado es:

$$M19 = M20 + M21 \quad (\text{Ecuación 3-25})$$

Donde:

$$M19 = \text{Masa final del extracto (solvente y masa del tamizado)} = 91,974 \text{ g}$$

$$M20 = \text{Masa de pérdida del filtrado} = ?$$

$$M21 = \text{Masa del filtrado final} = 69,666 \text{ g}$$

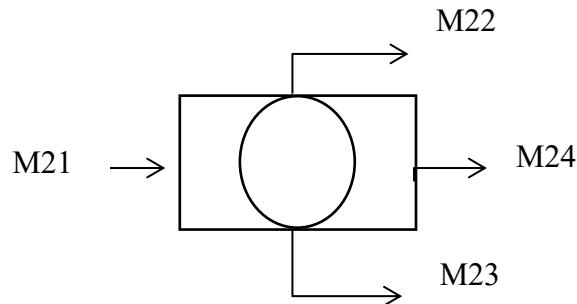
Los valores de las corrientes M16, M17 y M19 se conoce, mientras que la corriente M18 no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-25 se despeja la corriente M18 y se calcula este.

$$M20 = M19 - M21$$

$$M_{20} = 91,974 \text{ g} - 69,666 \text{ g}$$

$$M_{20} = 22,308 \text{ g}$$

Operación OP8-Concentrado



balance global en la etapa de concentrado es:

$$M_{21} = M_{22} + M_{23} + M_{24} \quad (\text{Ecuación 3-26})$$

Donde:

$$M_{21} = \text{Masa del filtrado final} = 69,666 \text{ g}$$

$$M_{22} = \text{Masa de pérdida del concentrado} = ?$$

$$M_{23} = \text{Masa del etanol del rota evaporador} = 36,368 \text{ g}$$

$$M_{24} = \text{Masa del extracto final} = 30,505 \text{ g}$$

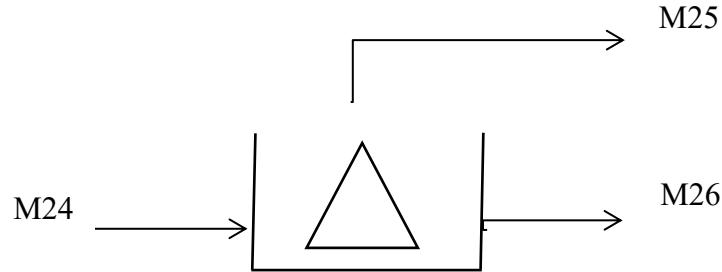
Los valores de las corrientes M_{21} , M_{23} y M_{24} se conoce, mientras que la corriente M_{22} no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-26 se despeja la corriente M_{22} y se calcula este.

$$M_{22} = M_{21} - M_{23} - M_{24}$$

$$M_{22} = 69,666 \text{ g} - 36,368 \text{ g} - 30,505 \text{ g}$$

$$M_{22} = 2,793 \text{ g}$$

Operación OP7-Centrifugado



El balance global en la etapa de centrifugado es:

$$M24 = M25 + M26 \quad (\text{Ecuación 3-27})$$

Donde:

$$M24 = \text{Masa del extracto final} = 30,505 \text{ g}$$

$$M25 = \text{Masa de pérdida en la centrifugación} = ?$$

$$M26 = \text{Masa del extracto final centrifugado} = 30,069 \text{ g}$$

Los valores de las corrientes M24 y M26 se conoce, mientras que la corriente M25 no se conoce, por lo cual con ayuda de la ecuación 3-27 se despeja la corriente M25 y se calcula este.

$$M25 = M24 - M26$$

$$M25 = 30,505 \text{ g} - 30,069 \text{ g}$$

$$M25 = 0,436 \text{ g}$$

Tabla 2- 9 Resumen del balance de Materia

BALANCE DE MATERIA		
Operación OP0-Lavado de la materia prima		
M1	Masa total recolectada de banano	177,104 g
M2	Masa de agua	196,782 g
M3	Masa de agua y pérdidas de Banano	178,4 g
M4	Masa de banano lavada	195,486 g
Operación OP1-Cortado		
M4	Masa de banano lavada	195,486 g
M6	Masa de cáscara de banano perdida	0,267 g
M5	Masa de pulpa de banano	59,135 g
M7	Masa de cáscara de banano cortado	136,084 g
Operación OP2-Troceado		
M7	Masa de cáscara de banano cortado	136,084 g
M8	Masa de pérdida en el troceado	5,443 g
M9	Masa de cáscara para el secado	130,641 g
Operación OP3-Secado de la banana troceada		
Hi	Humedad inicial de la cáscara mojada	84,293 %
Hf	Humedad final de secado	8,805 %
M9	Masa de cáscara para el secado	130,641 g
M10	Masa de vapor de agua	108,140 g
M11	Masa de cáscara seca	22,501 g
Operación OP4-Molienda y Tamizado		
M11	Masa de cáscara seca	22,501 g
M12	Masa de perdida en la molienda	0,450 g
M13	Masa molida	22,051 g
M14	Masa de pérdida en el tamizado	0,350 g
M15	Masa de rechazo en el tamizado	1,701 g
M16	Masa final del tamizado	20 g

BALANCE DE MATERIA		
Operación OP5-Extracción		
M16	Masa final del tamizado	20 g
M17	Masa del etanol	98,625 g
M18	Masa de pérdida del etanol, agua y otros.	26,651 g
M19	Masa final del extracto (solvente y masa del tamizado).	91,974 g
Operación OP8-Filtrado		
M19	Masa final del extracto (solvente y masa del tamizado).	91,974 g
M20	Masa de pérdida del filtrado	22,308 g
M21	Masa del filtrado final	69,666
Operación OP8-Concentrado		
M21	Masa del filtrado final	69,666
M22	Masa de pérdida del concentrado	2,793 g
M23	Masa del etanol del rota evaporador	36,368 g
M24	Masa del extracto final	30,505 g
Operación OP7-Centrífugado		
M24	Masa del extracto final	30,505 g
M25	Masa de pérdida en la centrifugación	0,436 g
M26	Masa del extracto final centrifugado	30,069 g

Fuente: Elaboración Propia, 2024

2.8.2 Balance de energía

Balance de energía en el secador

Para el balance de energía se deben tomar en cuenta los procesos que impliquen un intercambio de energía.

$$\Delta E_{cinetica} + \Delta E_{potencial} + \Delta U_{energia interna} = Q + W \quad (\text{Ecuación 3-28})$$

$W=0$ Porque durante la extracción el volumen es constante

$\Delta E_{cinetica}=0$ Porque no existe movimiento de traslación horizontal

$\Delta E_{potencial}=0$ Porque no existe movimiento de traslación vertical

Entonces:

$$\Delta U_{energia interna} = Q \quad (\text{Ecuación 3-28})$$

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

Según Smith Abbott (1996), para sistemas estacionarios a V ctte

$$Q_{sensible} = Q_{latente}$$

$$H_i = 84,293\%$$

m_c = Masa del componente

cp_c =Capacidad calorífica

$$m_c=130,641\text{g}$$

$$T_i=293,15 \text{ K}$$

$$cp_c=1,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$H_{ic}=84$$

Según bibliografía se considera como dato calor específico de la cáscara de plátano verde el $cp_c = 1,5 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Balance del secador

$$H_f = 8,805\%$$

$$m_c = 22,501 \text{ g}$$

$$T_i = 40^\circ\text{C} + 273,15 = 313,15 \text{ K}$$

La energía transferida comprende:

Calor sensible para aumentar la temperatura de la masa de la cáscara de plátano a la temperatura de secado.

Calor latente para el cambio de fase del agua líquida a vapor.

$$Q = Q_{sensible} + Q_{vaporizacion}$$

$$Q_{sensible} = cp * \Delta H_{solido} \quad (\text{Ecuación 3-29})$$

$$\Delta H_{solido} = cp * (T_f - T_i) + X_{H_2O} * cp_{H_2O} * (T_f - T_i) \quad (\text{Ecuación 3-30})$$

X_{H_2O} = Fracción molar de agua

$$X_{H_2O} = \frac{\text{masa de } H_2O}{\text{masa total de muestra}}$$

$$X_{H_2O} = \frac{99,58}{130,6} = 0,762$$

$$X_{cas} = (1 - 0,762)$$

$$X_{cas} = 0,23$$

Para calcular el calor específico (kcal/kg °C) de la materia prima se utilizó la Ec. 3.33 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$cp_s = 1,5 \frac{kJ}{kg \ K} * \frac{1^{\circ}C}{273,15 \ K} = 0,00549 \frac{kJ}{kg \ K}$$

$$T_f = 40^{\circ}C + 273,15 = 313,15 \text{ K}$$

$$T_i = 20^{\circ}C + 273,15 = 293,15 \text{ K}$$

$$cp_{H_2O} = 4,18 \frac{kJ}{kg \ K}$$

$$X_{H_2O} = 0,762$$

$$\Delta H_{solido} = 0,00549 * (313,15 - 293,15) + 0,762 * 4,18 * (313,15 - 293,15)$$

$$\Delta H_{solido} = 63,813 \text{ kJ}$$

Concentración del sólido es:

$$C = \frac{m_{cascara}}{m_{etanol} + m_{cascara}} \quad (\text{Ecuación 3-31})$$

$$C = \frac{0,1306}{0,15 + 0,1306} = 0,871$$

$$Q_{sensible} = m_t * c_p * \Delta T \quad (\text{Ecuación 3-32})$$

$$Q_{sensible} = (0,871 * 19,198) = 16,72 \text{ kJ}$$

Para calcular el calor específico (kcal/kg °C) de la materia prima se utilizó la Ec. 3.30 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$c_p = cp_c * X_c + cp_{et} * X_{et} \quad (\text{Ecuación 3-33})$$

Donde:

cp_c = capacidad calorífica de la cáscara de plátano

X_c = Fracción másica de la cáscara de plátano

cp_{et} = Capacidad calorífica del etanol

X_{et} =Fracción másica del etanol

$$c_p = (0,15*0,12 + 2,44*0,88)$$

$$c_p = 2,32 \frac{kJ}{kg \ K}$$

$$X_c = \frac{m_c}{m_t}$$

$$X_c = \frac{0,02}{(0,02+0,15)} = 0,12$$

$$X_{et} = (1-0,12) = 0,88$$

$$Q_{sensible} = (0,871 * 19,198) = 16,72 \text{ kJ}$$

$$Q_{vap} = 0,871 * (0,762 - 0,238) * 2,317$$

$$Q_{vap} = 1057,8 \text{ kJ}$$

$$Q1 = Q_{sensible} + Q_{vap}$$

$$Q1 = 16,72 + 1057,8 = 1074,5 \text{ kJ} \text{ calor total de evaporación del agua}$$

Balance en el extractor

$$Q_{sensible} = Q_{latente}$$

$$T_i = 20^\circ\text{C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$$

$$T_f = 65^\circ\text{C} + 273,15 = 338,15 \text{ K}$$

$$m_t = m_c + m_{et}$$

$$m_t = 0,02 + 0,15 = 0,17 \text{ kg}$$

$$Q_{sensible} = Q_{latente}$$

$$Q_{sensible} = m_t * c_p * \Delta T$$

$$Q_{sensible} = 0,17 * 2,32 * (338,15 - 293,15)$$

$$Q_{sensible} = 17,74 \text{ kJ}$$

La cantidad de calor suministrada es

$$Q_{cedido} = 17,74 \text{ kJ} = Q_2$$

Para calcular el calor específico (kcal/kg °C) de la materia prima se utilizó la Ec. 3.34 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$c_p = cp_c * X_c + cp_{et} * X_{et} \quad (\text{Ecuación 3-34})$$

Donde:

c_p = Calor específico de la materia prima utilizada

cp_c = Capacidad calorífica de la cáscara d plátano

X_c = Fracción másica de la cáscara de plátano

cp_{et} = Capacidad calorífica del etanol

X_{et} = Fracción másica del etanol

$$c_p = (0,15 * 0,12 + 2,44 * 0,88)$$

$$c_p = 2,32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$X_c = \frac{m_c}{m_t}$$

$$X_c = \frac{0,02}{(0,02 + 0,15)} = 0,12$$

$$X_{et} = (1 - 0,12) = 0,88$$

Balance en el sistema de evaporación de condensación

La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 78 kPa por lo que la presión del sistema es:

$$P_{sis} = P_{atm} + P_{red} \quad (\text{Ecuación 3-35})$$

$$P_{sis} = 101,3 - 78,0$$

$$P_{sis} = 23,3 \text{ Pa}$$

Balance en el baño María

$$Q_{entregado} = Q_{ganado}$$

$$Q_{entregado} = m_{H_2O} * cp_{H_2O} * \Delta T \quad (\text{Ecuación 3-36})$$

$$m_{H_2O} = 4 \text{ kg}$$

$$cp_{H_2O} = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$T_f = 45^\circ\text{C} + 273,15 = 318,15 \text{ K}$$

$$T_i = 20^\circ\text{C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$$

$$Q_{entregado} = 4 * 4,187 * (318,15 - 293,15)$$

$$Q_{entregado} = 417 \text{ kJ}$$

Tabla 2- 10 Resumen del balance de energía

Etapas del proceso de extracción de taninos de la cáscara de plátano verde		Flujos (kJ)
Q1	Calor necesario para el proceso de secado	1074,5 kJ
Q_{vap}	Calor latente para el cambio de fase	1057,8 kJ
Q_{sencible}	Calor necesario para aumentar la temperatura de la masa de la cáscara de plátano verde a la temperatura del secado	16,72 kJ
Q2	El calor necesario para el proceso	17,74 kJ

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

2.9 Costo de producción

A partir de los balances de materia y energía puede estimarse el costo de producción para obtención de Extracto de Taninos de la Cáscara de Plátano verde. Los costos son; energía eléctrica 0,6 Bs/ kWh, agua 0,7 Bs/m³, el etanol 23 Bs/ litro y agua destilada 5 Bs/litro.

Tabla 2- 11 Detalle de Costos totales del estudio

Proceso	Requerimiento energético					
	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kW/h)	Costo	Unitario	Costo total
				(Bs.-)	(Bs.-)	(Bs.-)
Agitación	0,02133	2	0,96	0,128		0,12288
Filtración y Evaporación (Bomba)	0,57	0,5	2,951	0,342		1,009242
Rota-vapor	0,1933	0,33	0,1309	0,115		0,015054
Total						1,15

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 2- 12 Costo total de la producción

Agua	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs.-)	Costo total (Bs.-)
Lavado	0,2	litro	5	1
Baño Rota-vapor	4	litro	0,07	0,28
Agua como refrigerante	31	litro	0,07	2,17
Solventes y materia prima	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs.-)	Costo total (Bs.-)
Etanol	0,2	litro	23	4,6
Plátano verde (Musa Paradisiaca)	0,02	G	1,33	0,0266
Gastos extras	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs.-)	Costo total (Bs.-)
Botella de vidrio ambar para presentación	3	Unidad	10	30
Gasto energético				1,147
Total				39,224

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El costo total de producción aproximado es de 39,224 Bs para la producción de 30 ml de Extracto de Tánicos de Cáscara de Plátano verde (Musa Paradisiaca). En el Anexo E, se pueden ver las tablas de los costos del proyecto en detalle.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3 Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la materia prima

Para la materia prima se hizo una medición del peso del plátano con pulpa y por separado la pulpa y la cáscara del plátano. los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3- 1 Composición del peso de la banana verde (Musa Paradisiaca)

Descripción	Peso (g)	Porcentaje (%)
Peso la banana entera	24,0	100
Peso de la cáscara	84,0	35
Peso de la pulpa	156	65

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Los resultados del análisis de la materia prima, cáscara de plátano verde Musa Paradisiaca realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), arrojó los siguientes datos:

Tabla 3- 2 Parámetros físico químicos y microbiológicos de la cascara de banano verde Musa Paradisiaca

Parámetro	Método	Cantidad	Unidad
Humedad	NB 313010:05	g/100g	80,63
Densidad	NB 36001:02	g/100g	0,44
Ph	Potenciómetro		7,05
Escherichia coli	NB 32005: 02	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	2,9x10 ³

Fuente: CEANID, 2024.

El análisis proximal de la cáscara de banano reveló un alto contenido de agua con una humedad del 80,63 g/100 g, una densidad de 0,44 g/100g, un Ph de 7,05. Como análisis microbiológico se obtuvo un contenido de Escherichia coli <1,0x10¹ (*) UFC/g, un contenido de Mohos y levaduras de 2,9x10³ UFC/g. (ver Anexo A).

Para poder definir también que solvente era el adecuado se envió una muestra de la materia prima a la ciudad de La Paz para ser analizada en la universidad Mayor de San Andrés la cual realizó el secado y cuantificación de taninos por el equipo de ultrasonido usando como solvente únicamente agua destilada arrojando el siguiente resultado:

Tabla 3- 3 Resultados de la cantidad de taninos extraídos con agua como solvente

Parámetro	Extracto crudo en solución
Contenido de taninos totales (mg/100mL)	41,22

Fuente: Universidad Mayor de San Andrés, 2024.

3.2 Resultados experimentales

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de las pruebas experimentales, se muestran a continuación:

3.2.1 Secado de las cáscaras de banano

Los resultados del secado de la cáscara de banano son:

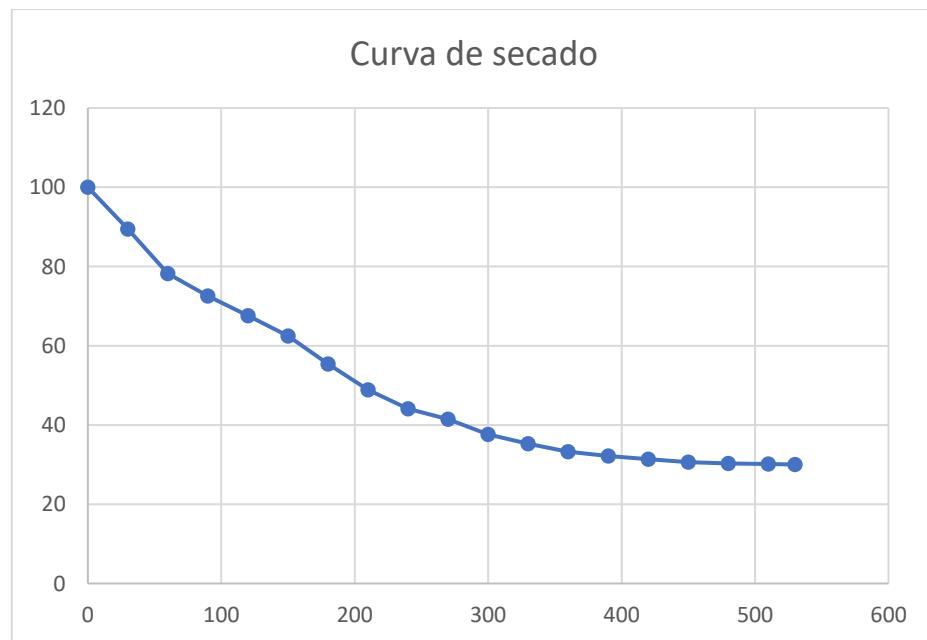
- El secado se realizó con un tamaño de trozos de cáscaras de 5x5mm.
- El secado se realizó a una temperatura constante de 40 °C por un tiempo de 8 hr, en el cual se alcanza la humedad residual necesaria.

En la siguiente Tabla 3-4, se observa la curva de secado obtenida experimentalmente con intervalos de 30 minutos hasta que se logró estabilizar el peso.

Tabla 3- 4 Curva de secado obtenida

Nº	Tiempo (min)	Peso (gr)	Nº	Tiempo (min)	Peso (gr)
1	0	100	10	270	41,44
2	30	89,45	11	300	37,65
3	60	78,23	12	330	35,26
4	90	72,56	13	360	33,25
5	120	67,56	14	390	32,15
6	150	62,45	15	420	31,34
7	180	55,37	16	450	30,65
8	210	48,87	17	480	30,26
9	240	44,09	18	510	30,15

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Fig. 3- 1 Curva de secado de la cáscara de Plátano

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.2.2 Molienda de la cáscara

Durante la molienda de la cáscara de banano se obtuvieron los siguientes resultados:

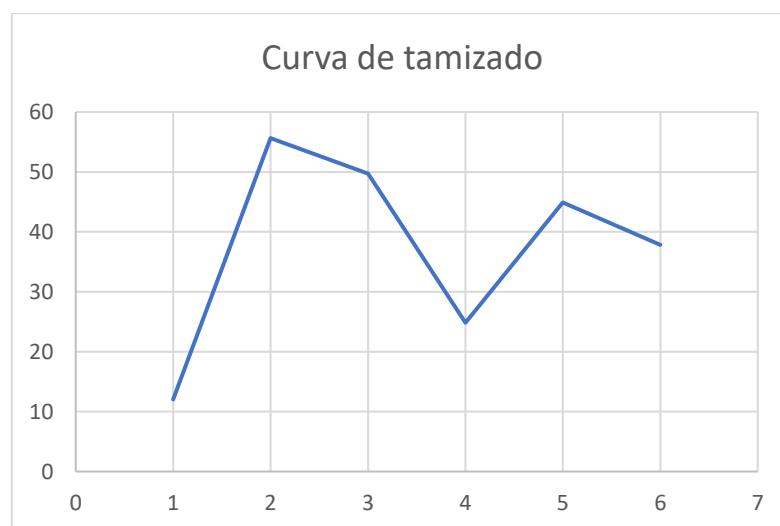
Tabla 3- 5 Curva de tamizado obtenida

Malla (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
2	15,086	12,04
1	60,12	55,64
0,5	48,163	49,73
0,25	18,197	24,82
0.063	45,577	44,92
Colector	37,818	37,82
Total	224,961	224,97

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

En la Fig. 3-2 se presenta la curva de tamizado de cáscara de plátano seco obtenido experimentalmente.

Fig. 3- 2 Curva de tamizado de la cáscara de plátano seca



Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Los resultados obtenidos en el rendimiento en la etapa de extracción, según las combinaciones y su respectiva repetición son los siguientes:

Tabla 3- 6. Combinación de variables independientes

Nº	Variables Independientes				Rendimiento	
	Conc.	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Combinaciones	I	II
1	A1	B1	C1	A1B1C1	17,12	17,16
2	A2	B1	C1	A2B1C1	18,21	18,15
3	A1	B2	C1	A1B2C1	18,8	18,85
4	A2	B2	C1	A2B2C1	19,95	19,65
5	A1	B1	C2	A1B1C2	19,05	19,07
6	A2	B1	C2	A2B1C2	20,75	20,6
7	A1	B2	C2	A1B2C2	21,29	21,28
8	A2	B2	C2	A2B2C2	22,25	22,12

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

3.4 Análisis estadístico del diseño factorial

Se realiza un análisis de varianza univariante, para poder determinar la influencia de los factores concentración, tiempo y temperatura, verificando si todos los factores y sus combinaciones son significativos respecto a la variable respuesta rendimiento de taninos.

Fig. 3- 3 Factores inter sujetos

Factores inter-sujetos		
		N
Concentración	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8
Temperatura	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

Fig. 3- 4 Pruebas inter sujeto

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente:					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	39,234 ^a	6	6,539	335,713	0,000
Intersección	6174,227	1	6174,227	316985,444	0,000
Concentracion	5,125	1	5,125	263,096	0,000
Temperatura	12,399	1	12,399	636,576	0,000
Tiempo	21,448	1	21,448	1101,167	0,001
Concentracion * Temperatura	0,153	1	0,153	7,859	0,021
Concentracion * Tiempo	0,062	1	0,062	3,177	0,108
Temperatura * Tiempo	0,047	1	0,047	2,401	0,156
Error	0,175	9	0,019		
Total	6213,636	16			
Total corregido	39,409	15			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,993)

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024.

El modelo estadístico nos indica que la significancia debe ser menor al 0,05% ya que usamos intervalo de confianza del 95%, en los resultados obtenidos se verifica que a concentración es menor al 0,05, la temperatura es menor al 0,05%, el tiempo es menor al 0,05 % y para finalizar la concentración y temperatura es menor al 0,055 indicando que estas variables son importantes para el proceso.

La franja de color, muestran los resultados de la variable, concentración tiempo y temperatura tiempo, indicando que no son significativas, por lo que serán despreciables posteriormente. Porque las variables concentración tiempo y temperatura tiempo son mayores a 0,05%.

Tabla 3- 7 Matriz de diseño experimental en la etapa de Extracción

Nº	Concentración	Tiempo	Temperatura	Rendimiento
1	-1	-1	-1	17,12
2	1	-1	-1	18,21
3	-1	1	-1	18,8
4	1	1	-1	19,95
5	-1	-1	1	19,05
6	1	-1	1	20,75
7	-1	1	1	21,295
8	1	1	1	22,25
9	-1	-1	-1	17,16
10	1	-1	-1	18,15
11	-1	1	-1	18,85
12	1	1	-1	19,65
13	-1	-1	1	19,07
14	1	-1	1	20,6
15	-1	1	1	21,28
16	1	1	1	22,12

Fuente: Elaboración Propia, 2024

En la siguiente figura se puede observar el resumen del modelo:

Fig. 3- 5 Resumen el modelo

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,994 ^a	0,989	0,986	0,19084
a. Predictores: (Constante), Tiempo, Temperatura, Concentracion				
b. Variable dependiente: Rendimiento				

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

El análisis nos muestra que el valor del R tiende a cero, demostrando que el modelo matemático escogido es el correcto.

Fig. 3- 6 Pruebas Inter-Sujeto ajustado

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Origen					
Modelo corregido	23246,232 ^a	4	5811,558	22,212	,00
Intersección	6718451,040	1	6718451,040	25678,689	,00
Concentración	2549,998	1	2549,998	9,746	,01
Tiempo	8494,848	1	8494,848	32,468	,00
Temperatura	10437,176	1	10437,176	39,892	,00
Concentración *	1764,210	1	1764,210	6,743	,02
Temperatura					
Error	2877,988	11	261,635		
Total	6744575,260	16			
Total corregido	26124,220	15			

a. R al cuadrado = ,890 (R al cuadrado ajustada = ,850)

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

El modelo estadístico nos indica que la significancia debe ser menor al 0,05% ya que usamos intervalo de confianza del 95%, en los resultados obtenidos se verifica que a concentración es menor al 0,01, la temperatura tiende a 0, el tiempo tiende a 0 y para finalizar la concentración y temperatura es 0,025, indicando que estas variables son importantes para el proceso.

Fig. 3- 7 Resultados del Análisis Anova

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	21482,022	3	7160,674	18,510	,000 ^b
	Residuo	4642,198	12	386,850		
	Total	26124,220	15			

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Predictores: (Constante), Temperatura, Tiempo, Concentración

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

El análisis de varianza de Anova en la Fig. 3-7. muestra un nivel de significación que tiende a cero, demostrando que el modelo matemático escogido es el correcto.

En la Fig. 3-8, se muestran los coeficientes para el modelo matemático del rendimiento de tanino.

Fig. 3- 8 Coeficientes del Modelo Matemático

Modelo		Coeficientes ^a							
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error	Beta				Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	647,999	4,917			131,784	,000	637,286	658,713
	Concentración	12,624	4,917	,312	2,567	,025	1,911	23,338	
	Tiempo	23,042	4,917	,570	4,686	,001	12,328	33,755	
	Temperatura	25,541	4,917	,632	5,194	,000	14,827	36,254	

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

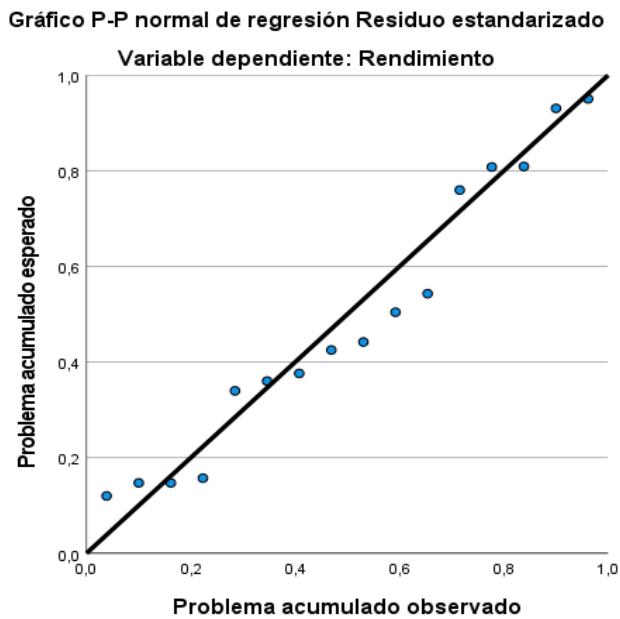
Según los coeficientes indicados tabla, el modelo matemático para la extracción de taninos de plátano verde de la variedad Musa Paradisiaca, responde a la ecuación:

$$R\% = 647,999 + 12,624 \text{ Conc.} + 23,042t + 25,541T + 10,501 C*T$$

Donde:

- Conc. =Concentración
- t= Tiempo
- T= Temperatura
- C*T= Concentración- Temperatura

A partir de esta ecuación se puede enunciar que, a mayor relación de Concentración-Temperatura mayor es el porcentaje de rendimiento, también aumentando la temperatura y tiempo se optimiza la extracción de tanino. Lo que significa que sus variables según el modelo estadístico son importantes e influyen en el proceso.

Fig. 3- 9 Modelo Lineal

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

En la Figura 3-9 se presenta el gráfico de probabilidad normal P–P de los residuos estandarizados del modelo de regresión, correspondiente a la variable dependiente Rendimiento. Este gráfico permitió evaluar si los residuos del modelo se distribuyen de manera aproximadamente normal, condición necesaria para validar el modelo lineal propuesto.

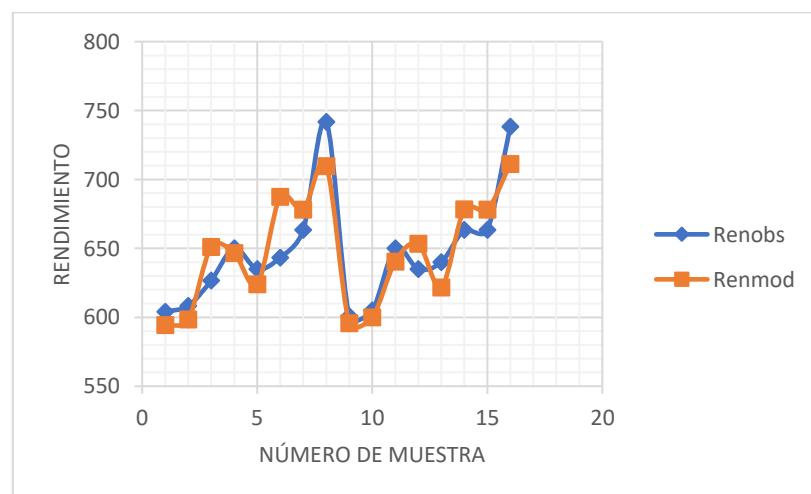
Se observa que la mayoría de los puntos se alinean de forma cercana a la línea diagonal, lo que indica que los residuos se ajustan adecuadamente a una distribución normal. Aunque algunos puntos se desvían ligeramente de la línea teórica, estas desviaciones no representan un desajuste significativo. De acuerdo con el análisis ANOVA complementario, el modelo no presenta diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los residuos, lo que confirma que el ajuste del modelo es apropiado y confiable para explicar el comportamiento del rendimiento de extracción de taninos.

Tabla 3- 8 Rendimiento de extracción y el % Rendimiento de extracción culado

Rendimiento	Rendimiento calculado	Error
17,12	17,01	0,11
18,21	18,16	0,05
18,8	18,96	-0,16
19,95	19,45	0,5
19,05	19,46	-0,41
20,75	20,4	0,35
21,3	21,06	0,24
22,25	22,27	-0,02
17,16	17	0,16
18,15	18,18	-0,03
18,85	18,79	0,07
19,65	20,03	-0,38
19,07	19,45	-0,38
20,6	20,45	0,15
21,28	21,06	0,22
22,12	22,29	-0,17

Fuente: Elaboración propia SPSS 29.0, 2024

Fig. 3- 10 Comparación gráfica del %Rendimiento de extracción y el % Rendimiento de extracción calculado



Fuente: Elaboración Propia, 2024

Donde:

- ✓ Renobs: Es el Rendimiento observado.
- ✓ Renmod: Es el rendimiento calculado.

3.5 Características de los taninos obtenidos

3.5.1 Análisis cuantitativos

En la Tabla 3-9, se presentan los resultados del porcentaje de rendimiento obtenido de la parte experimental y analizados por la Universidad Mayor de San Andrés de la ciudad de La Paz.

Tabla 3- 9 Resultados del porcentaje de rendimiento de la extracción de taninos

Parámetro	Extracto crudo en solución
Contenido de taninos totales (mg/100ml)	858,76
Contenido de extracto tánico (g/100 ml)	6,85

Fuente: Universidad Mayor de San Andrés 2024

El contenido de taninos totales de la muestra fue de 858,76 (mg/100mL) y un contenido de extracto tánico de 6,85 (g/100 mL).

Tabla 3- 10 Análisis fisicoquímicos de la muestra de taninos obtenidos

Parámetro	Técnica o método	Unidad	Resultado	Límites Permisible	Referencia
Densidad relativa (20°C/20°C)	NB 36001:2002	g/ml	0,886	Sin referencia	Sin referencia
Ph (20°C)	Potenciómetro		3,76	Sin referencia	Sin referencia
Sólidos insolubles	NB36004:200 2	g/100g	0,15	Sin referencia	Sin referencia
Sólidos Solubles (20°C)	NB36003:200 2	°Brix	26	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2024.

Cálculo de rendimientos:

Para el cálculo de los rendimientos obtenidos en la cuantificación de los taninos, se utilizó el método de Stiasny, que permitió encontrar los valores del peso del residuo y del precipitado. Para llevar a las mismas unidades del análisis de laboratorio realizado en la ciudad de La Paz se consideró transformar el rendimiento obtenido de (g/30 mL) a (g/100 mL). El rendimiento se calculó usando la masa de entrada 20 g para cada muestra:

$$\%R = \frac{\text{Masa de entrada (g)}}{\text{Masa del precipitado (g)}}$$

$$\%R = \frac{20 \text{ g}}{3,624 \text{ g}} = 0,1712$$

Tabla 3- 11 Cálculo del número de Stiasny y el Rendimiento

Peso precipitado (g)	Peso del residuo (g)	Nº Stiasny	Rendimiento del extracto tánico (g/30 mL)	Taninos condesados %
3,424	4,087	83,78	0,171	0,143
3,642	4,122	88,36	0,182	0,161
3,760	4,252	88,43	0,188	0,166
3,990	4,366	91,39	0,200	0,182
3,810	4,276	89,10	0,191	0,170
4,150	4,396	94,40	0,208	0,196
4,259	4,600	92,59	0,213	0,197
4,450	4,770	93,29	0,223	0,208

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 3- 12 Cálculo del número de Stiasny y el Rendimiento para la réplica

Peso precipitado (g)	Peso del residuo	Nº Stiasny	Rendimiento del extracto tánico (g/30 mL)	Taninos condesados %
3,432	4,091	83,89	0,172	0,144
3,630	4,119	88,13	0,182	0,160
3,770	4,255	88,60	0,189	0,167
3,930	4,348	90,39	0,197	0,178
3,814	4,275	89,22	0,191	0,170
4,120	4,385	93,96	0,206	0,194
4,255	4,610	92,30	0,213	0,196
4,423	4,772	92,69	0,221	0,205

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Para obtener los datos del rendimiento sobre las mismas unidades del análisis de taninos obtenido en la Universidad Mayor de San Andrés se usaron como unidades (mg/100mL),

Tabla 3- 13 Rendimiento del extracto tánico

Nº	Rendimiento (mg/100mL)	Rendimiento (%)	Nº	Rendimiento (mg/100mL)	Rendimiento en %
1	570,67	17,12	9	572,00	17,16
2	607,00	18,21	10	605,00	18,15
3	626,67	18,80	11	628,33	18,85
4	665,00	19,95	12	655,00	19,65
5	635,00	19,05	13	635,67	19,07
6	691,67	20,75	14	686,67	20,60
7	709,83	21,30	15	709,17	21,28
8	741,67	22,25	16	737,17	22,12

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

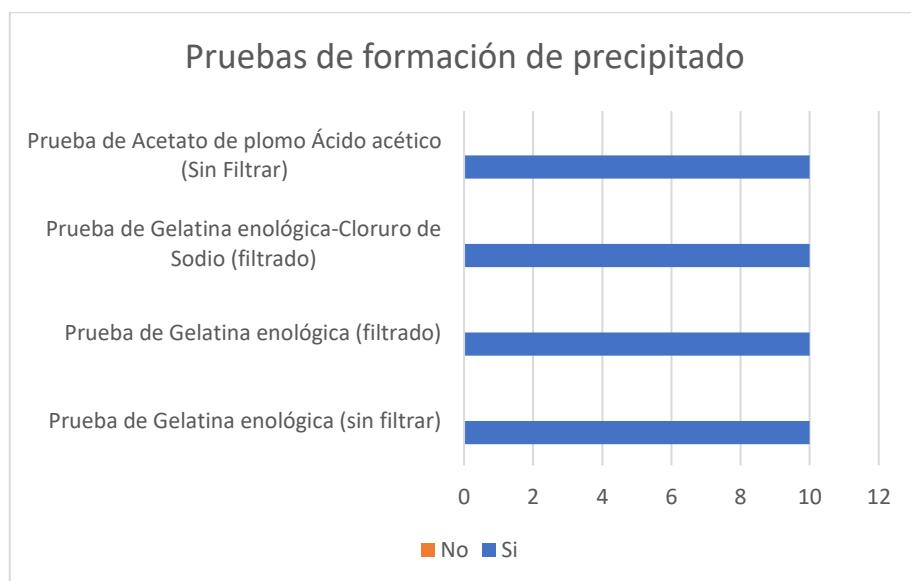
3.5.2 Análisis cualitativo

Tabla 3- 14 Prueba de formación de precipitado

Descripción	Prueba de formación de precipitado	
	Sí	No
Prueba de Gelatina enológica (sin filtrar)	10	0
Prueba de Gelatina enológica (filtrado)	10	0
Prueba de Gelatina enológica-Cloruro de Sodio (filtrado)	10	0
Prueba de Acetato de plomo-Ácido acético (Sin Filtrar)	10	0

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Fig. 3- 11 Prueba de formación de precipitado



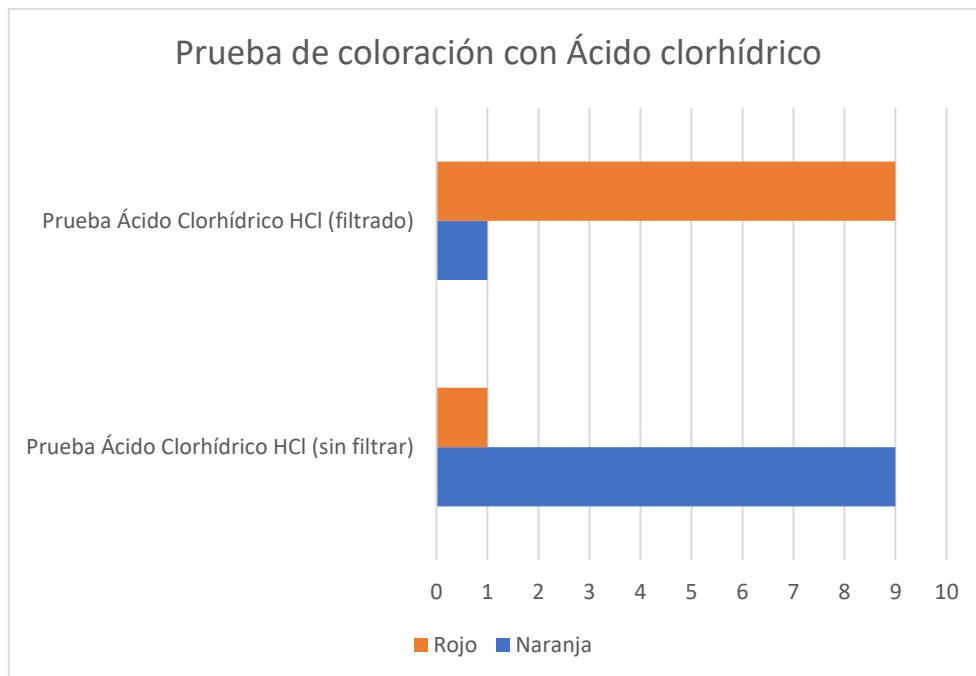
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En las pruebas realizadas con Gelatina enológica, Gelatina enológica con Cloruro de sodio y Acetato de plomo con ácido acético, se evidencia a formación de precipitado, lo que indica la presencia de Taninos.

Tabla 3- 15 Prueba de color con Ácido clorhídrico

Descripción	Cantidad de encuestas	
	Rojo	Naranja
Prueba Ácido Clorhídrico HCl (sin filtrar)	9	1
Prueba Ácido Clorhídrico HCl (filtrado)	1	9

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Fig. 3- 12 Prueba de coloración con Ácido clorhídrico

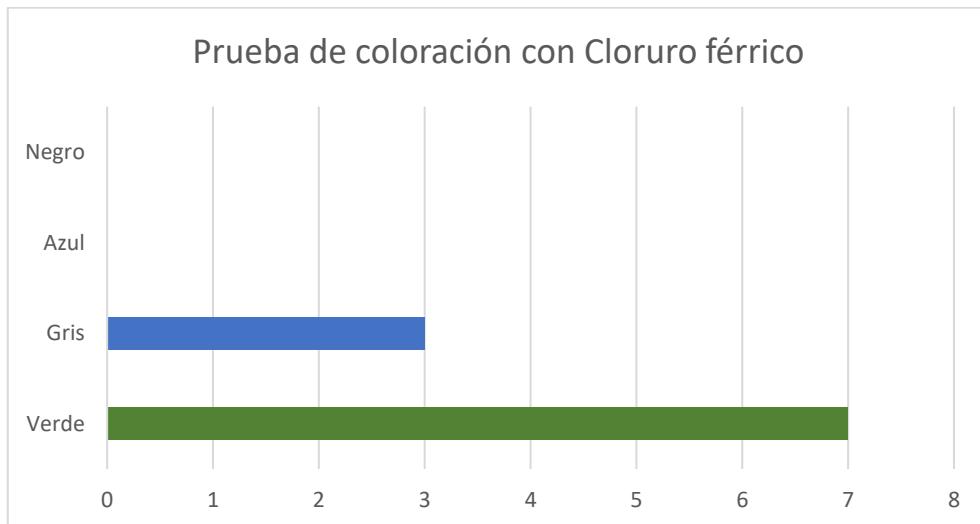
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la prueba de color con el Ácido clorhídrico se logra evidenciar el color rojo y naranja, lo que indica la presencia de Taninos.

Tabla 3- 16 Prueba de coloración con Cloruro férrico

Descripción	Color	Nº de encuestas
Cloruro férrico	Verde	7
	Gris	3
	Azul	0
	Negro	0

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Fig. 3- 13 Prueba de coloración con Cloruro férrico

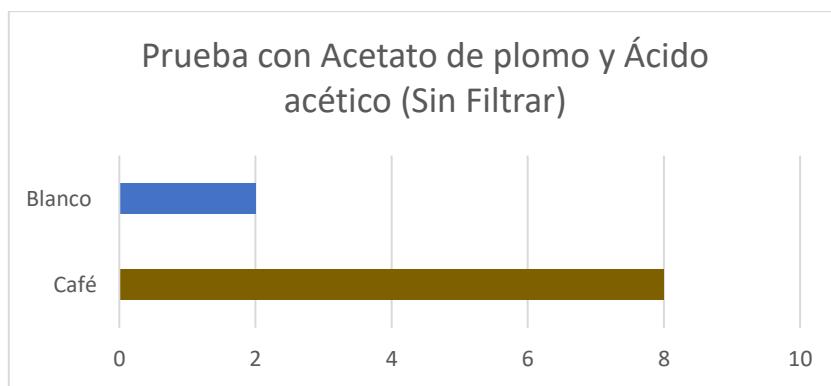
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la prueba del Cloruro férrico se logra evidenciar el color verde casi tornado a gris, lo que indica la presencia de Taninos.

Tabla 3- 17 Prueba con Acetato de plomo y Ácido acético (Sin filtrar)

Descripción	Color	Nº de encuestas
Acetato de plomo Ácido acético (Sin Filtrar)	Café	8
	Blanco	2

Fuente: Elaboración propia, 2024

Fig. 3- 14 Prueba con Acetato de plomo y Ácido acético (Sin filtrar)

Fuente: Elaboración propia, 2024

En la prueba del acetato de plomo y Ácido acético se logra evidenciar la presencia de taninos.

3.5.3 Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman la presencia de taninos en la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*). La cuantificación permitió calcular los rendimientos como se ve en la Tabla 3-13, mostrando un rendimiento de 741,67 mg/100 mL, equivalente al 22,25%, lo que demuestra una extracción efectiva. Al comparar estos valores con los resultados reportados por la Universidad Mayor de San Andrés, en la Tabla 3.-14, se obtuvo 858,76 mg/100 mL, utilizando etanol como solvente, se observa una similitud considerable. Las ligeras diferencias podrían atribuirse a factores experimentales, tales como el método de extracción empleado o las condiciones de temperatura y tiempo.

En relación con estudios previos Chavez Quiñonez, Cano Diaz, & Cerezo Quezada (2022), reportaron un rendimiento del 19,53% en la extracción de taninos de caoba (*Swietenia macrophylla*) empleando agua desmineralizada como solvente. Por su parte, (Equique de Leon, 2004) , obtuvo un 6,39% de rendimiento en taninos extraídos de la corteza de melina (*Gmelina arborea Roxb.*) utilizando sulfito de sodio. Asimismo, (Valverde Flores, 2020), logró un 8,11% de rendimiento en la extracción de taninos de semillas de uva empleando etanol al 96%.

Estos antecedentes evidencian que el uso de etanol como solvente orgánico resulta más eficiente para la extracción de taninos en comparación con solventes acuosos o salinos. En la fase preliminar de este estudio, cuando la materia prima fue enviada a la Universidad Mayor de San Andrés y se utilizó agua desmineralizada como solvente, en la Tabla 3-4, el rendimiento obtenido fue de 41,22 mg/100 mL, lo que respalda la selección del etanol como el solvente más adecuado para la presente investigación.

La presencia de taninos se evidenció claramente durante la etapa de extracción, donde el extracto presentó una coloración verde oscuro. Según Velásquez Valderrama (2004), este color corresponde a un alto contenido de taninos condensados, los cuales tienden a adquirir un tono marrón con el tiempo debido a procesos de oxidación natural. Esta característica fue confirmada mediante el análisis cualitativo con cloruro férrico, como se muestra en Fig. 2-28, que generó una coloración verde intensa, y la formación de precipitados como se muestra en la Fig. II. 26, Figura II. 29 y Figura II. 30 ante la reacción con diferentes compuestos, tal como lo describen (Alvarez A. & Lock de Ugaz, 1992) y (Alvarez Ramirez, 2007).

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que la metodología empleada particularmente el uso de etanol al 96% como solvente— fue adecuada para lograr una extracción eficiente de taninos a partir de la cáscara de plátano verde. Asimismo, los valores alcanzados son comparables con los reportados en investigaciones similares, lo que respalda la validez experimental del presente estudio.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se tiene las principales conclusiones:

- La materia prima presentó coloración verde y un porcentaje de cáscara equivalente al 35 % del fruto. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en el CEANID fueron: humedad 80,63 g/100 g, densidad 0,44 g/100 g, pH 7,05, *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, y mohos y levaduras $2,9 \times 10^3$ UFC/g. Estos valores se consideran adecuados para la extracción de taninos.
- El método de extracción más apropiado, de acuerdo con la matriz de decisión aplicada, fue la extracción sólido-líquido, debido a su menor complejidad y la disponibilidad de equipos en la universidad. El solvente seleccionado fue etanol al 96 %, con base en los resultados reportados en investigaciones previas.
- Las variables estudiadas fueron concentración de etanol, temperatura y tiempo de extracción, considerando como condiciones experimentales: solvente etanol-agua al 90 % y etanol al 70%, tiempo de 90 y 120 minutos, y temperaturas de 50 °C y 65 °C.
- El análisis estadístico ANOVA demostró que todas las variables estudiadas resultaron significativas ($p < 0,05$). La interacción más influyente fue concentración*temperatura, lo que indica que una mayor concentración de etanol y una mayor temperatura favorecen la extracción de taninos.
- El tiempo óptimo de extracción determinado experimentalmente fue 120 minutos.
- El rendimiento máximo alcanzado fue 22,25 % en la muestra N° 8.
- La cuantificación del extracto tánico mediante el número de Stiasny fue de 741,67 g/100 mL.

- La presencia de taninos se verificó cualitativamente a través de la coloración extracto y la formación de precipitado con reactivos, siendo más evidente en la muestra N° 8.
- Los parámetros caracterizados de la mejor muestra fueron: densidad relativa 0,886 g/mL, pH 3,76, sólidos insolubles 0,15 g/100 g y sólidos solubles 26 °Brix.
- Se realizó el balance de materia y de energía del proceso, así como la estimación del costo de producción, que fue de 39,22 Bs para 30 mL de extracto tánico.

4.2 Recomendaciones

Las principales recomendaciones que se pueden verter a partir del trabajo realizado son:

- Respecto al tamaño de partícula en el proceso de extracción con solventes, no se recomienda trabajar con partículas muy finas ni tampoco gruesas, ya que las partículas finas provocan formaciones tipo masa durante la extracción, mientras que partículas gruesas se observa que la coloración de tanino extraído presenta una coloración verde clara.
- Se recomienda el uso de ácido cítrico durante el lavado de plátano para evitar la oxidación del mismo.
- No es muy recomendable el uso de solvente como agua pura, ya que, la solución de tanino obtenida es muy pobre (coloración verde clara).
- A tiempos de extracción mayores a 120 min no son recomendables debido a la evaporación rápida del etanol y del extracto tánico.
- Se recomienda el uso del secado a bandejas ya que, con el secador al vacío no se logra alcanzar el grado de humedad adecuado.