

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Evaluación de un modelo experimental de recuperación de ácidos orgánicos basado en la precipitación tanino-gelatina en el proceso de antioxidación de banano

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Fabiola Sofya Gutiérrez Rodríguez

Daniela Doménica Moreno Naranjo

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis padres que amo y me han apoyado incondicionalmente a lo largo de toda mi carrera y vida, siempre impulsándome a superarme. A mis profesores que me ayudaron a formarme como ingeniera química. A Dios que siempre me ha iluminado el camino a seguir y demostrado su amor. Y a todos mis amigos del pre, de la carre, colegio, club de debate y mi mejor amigo por haberme brindado tantos momentos felices.

### **Fabiola Gutiérrez Rodríguez**

Dedico el presente proyecto a mi madre, el motor de mi vida y mi razón de ser. A mi tía Chelito y mi hermana Andrea por todo su apoyo y amor incondicional a lo largo de estos años. A mi sobrino Emilio por ser mi fuerza y alegría. Y a mis ángeles hermosos Lolita y tío John por su amor que trasciende esta vida.

### **Daniela Moreno Naranjo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento a Dios por guiarnos a lo largo de nuestra vida proporcionándonos tantas bendiciones. A la MsC. Andrea Barcia por su constante apoyo en el desarrollo de este proyecto. Al Ing. Xavier Bastidas, Ing. José Ronquillo, departamento de calidad y de mantenimiento por su colaboración. Finalmente, a todos nuestros profesores de la carrera por sus conocimientos impartidos que nos permitieron convertirnos en grandes profesionales.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Fabiola Sofya Gutiérrez Rodríguez* y *Daniela Doménica Moreno Naranjo* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Fabiola Sofya Gutiérrez Rodríguez



---

Daniela Doménica Moreno Naranjo

## EVALUADORES

NADIA MAGALY  
FLORES  
MANRIQUE

Firmado digitalmente  
por NADIA MAGALY  
FLORES MANRIQUE  
Fecha: 2021.09.22  
15:20:21 -05'00'

---

**M. Sc. Nadia Flores Manrique**

PROFESOR DE LA MATERIA

ANDREA  
FERNANDA  
BARCIA QUIMI

Digitally signed by  
ANDREA FERNANDA  
BARCIA QUIMI  
Date: 2021.08.31  
21:52:09 -05'00'

---

**M. Sc. Andrea Barcia Quimi**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El banano es uno de los productos de exportación más importantes para el Ecuador. Este requiere de un proceso de anti oxidación para su preservación, en el cual se utiliza una solución de ácidos, generando elevadas cantidades de desecho. Este proyecto se basa en una evaluación del modelo experimental de recuperación de ácidos orgánicos basado en la precipitación tanino-gelatina, para reducir la afectación al medio ambiente, instalaciones y economía de la empresa.

El proyecto, desarrollado en una empresa alimenticia, permite la experimentación con su agua de inmersión y banano, luego se diseña y se pone en marcha un reactor a escala piloto, para validar datos experimentales mediante un análisis estadístico y económico. En cada etapa se verificó el cumplimiento de los parámetros de calidad. Para la experimentación fue necesario agua de inmersión contaminada y gelatina Kosher, además los equipos para la realización del proceso y caracterización de resultados.

Al encontrar las condiciones de operación más eficientes del proceso se obtiene agua de inmersión recuperada, que con un 70% en la mezcla con agua de inmersión nueva, permite el cumplimiento de los parámetros de calidad del banano sumergido en la misma, aplicándose hasta 3 veces. Por último, el análisis económico refleja un VAN de \$23 591 y TIR de 27.06% con un periodo de recuperación de 2.8 años.

En base a los resultados, el proyecto es rentable y factible, mitigando el impacto ambiental al reducir el desecho de agua de inmersión y los gastos en materia prima, al recuperar un 82.3% de ácidos orgánicos.

**Palabras Clave:** banano, ácidos orgánicos, recuperación, control de calidad, complejo tanino-gelatina.

## ABSTRACT

*Bananas are one of the most important export products for Ecuador due to its high demand worldwide. This requires an anti-oxidation process for its preservation, in which an acid solution is used, which generates a high amount of waste. This project is based on an evaluation of the experimental model for the recovery of organic acids based on tannin-gelatin precipitation, to reduce the impact on the environment, facilities and the economy of the company.*

*The project, developed in a food company, allows experimentation with its immersion water and its bananas, after which a pilot-scale reactor is designed and started up, to validate experimental data through statistical and economic analysis. In each stage, the operation of the process was verified through the control of parameters. For the experimentation, contaminated immersion water and Kosher gelatin were used as reagents, as well as the equipment to carry out the process and characterize the results.*

*By finding the most efficient operating conditions of the process, recovered immersion water is obtained, which with 70% in the mixture with new immersion water, allows compliance with the quality parameters of the banana immersed in it, applying up to 3 times. Finally, the economic analysis obtained a NPV of \$23 591 and an IRR of 27.06% with a recovery period of 2.8 years.*

*Based on the results, the project is profitable and feasible, mitigating the environmental impact by reducing the waste of immersion water and the expenses in raw materials, by recovering 82.3% of organic acids.*

**Key Words:** *banana, organic acids, recovery, quality control, tannin-gelatin complex.*

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.....	2
1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Justificación del problema .....	3
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1.    Objetivo General.....	5
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	5
1.4. Marco teórico.....	5
1.4.1.    Importancia del banano en el Ecuador .....	5
1.4.2.    Tanino.....	6
1.4.3.    Agua ácida.....	7
1.4.4.    Reacción entre tanino y gelatina.....	8
1.4.5.    Parámetros de calidad del banano .....	8
1.4.6.    Planta Piloto.....	9
CAPÍTULO 2 .....	10
2. <i>METODOLOGÍA</i> .....	10
2.1. Revisión bibliográfica .....	10
2.1.1.    Proceso .....	10
2.1.2.    Agua de inmersión.....	11
2.2. Experimentación con agua de inmersión .....	11
2.2.1.    Primer caso: Gelatina directa.....	13
2.2.2.    Segundo caso: Relación tanino-gelatina .....	13
2.2.3.    Tercer caso: Solución de gelatina.....	14
2.2.4.    Análisis de composiciones de ácido cítrico, ascórbico y polifenoles totales .....	14

2.3.	Experimentación con banano.....	15
2.3.1.	Mezcla agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva.....	15
2.3.2.	Cantidad de reutilizaciones posibles.....	15
2.4.	Análisis estadístico.....	16
2.5.	Implementación del reactor a escala piloto .....	16
2.6.	Análisis económico.....	17
CAPÍTULO 3 .....		18
3.	<i>RESULTADOS Y ANÁLISIS</i> .....	18
3.1.	Experimentación con agua de inmersión .....	18
3.1.1.	Primer caso: Gelatina directa.....	18
3.1.2.	Segundo caso: Relación T/G .....	19
3.1.3.	Tercer caso: Solución de gelatina.....	20
3.1.4.	Análisis de composiciones de ácido cítrico, ascórbico y polifenoles totales .....	21
3.2.	Experimentación con banano .....	22
3.2.1.	Mezcla agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva.....	22
3.2.2.	Cantidad de reutilizaciones posibles.....	23
3.3.	Análisis estadístico.....	24
3.4.	Implementación del reactor a escala piloto .....	27
3.5.	Análisis económico.....	29
CAPÍTULO 4 .....		31
1.	<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> .....	31
4.1.	Conclusiones.....	31
4.2.	Recomendaciones.....	32
BIBLIOGRAFÍA .....		34
<i>APÉNDICE</i> .....		37

## **ABREVIATURAS**

aic	Agua de inmersión contaminada
PFD	Diagrama de flujo de procesos
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
gel	Gelatina
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
pH	Potencial de hidrógeno
ANOVA	Análisis de varianza

## SIMBOLOGÍA

g	Gramos
mL	Mililitros
L	Litros
%	Porcentaje
°	Grados
N	Normal
T/G	Relación Tanino/Gelatina
min	Minutos
m/m	Relación masa/masa
Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alterna
$\mu_n$	Media poblacional de la muestra n
$\tilde{\mu}_n$	Mediana poblacional de la muestra n

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Etapas en la metodología.....	10
Figura 2.2 PFD Sistema de recuperación de ácidos .....	10
Figura 2.3 Algoritmo de decisión experimentación con agua de inmersión.....	12
Figura 3.1 Pruebas de normalidad para: a) pH, b) Brix, c) Color, d) Acidez.....	26
Figura 3.2 Pruebas de ANOVA de un factor para: a) pH, b) Brix, c) Color, d) Acidez	27
Figura 3.3 PFD del proceso de recuperación de ácidos orgánicos a escala piloto ....	28
Figura 3.4 PFD del sistema del reactor del proceso de recuperación de ácidos orgánicos.....	28

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el primer caso .....	18
Gráfica 3.2 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el segundo caso .....	19
Gráfica 3.3 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el tercer caso .....	20
(primer rango).....	20
Gráfica 3.4 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el tercer caso (segundo rango) .....	21
Gráfica 3.5 Parámetros de control de calidad del banano a distintos % de mezcla agua de inmersión recuperada/agua de inmersión nueva.....	23
Gráfica 3.6 Parámetros de control de calidad del banano de las muestras del análisis estadístico .....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Variables independientes y dependientes en el primer caso.....	13
Tabla 2.2 Variables independientes y dependientes en el segundo caso .....	13
Tabla 2.3 Variables independientes y dependientes en el tercer caso.....	14
Tabla 2.4 Composición másica del agua de inmersión contaminada.....	15
Tabla 2.5 Rangos de aceptación de los parámetros para la calidad del banano .....	15
Tabla 2.6 Pruebas de hipótesis .....	16
Tabla 2.7 Precios de materia prima.....	17
Tabla 3.1 Mejores condiciones de operación para el proceso.....	21
Tabla 3.2 Composición másica del agua de inmersión recuperada .....	22
Tabla 3.3 Porcentajes de recuperación ácidos orgánicos y de remoción de Taninos	22
Tabla 3.4 Resultados de los parámetros de calidad del banano por reutilización .....	24
Tabla 3.5 Promedios de los parámetros de control de calidad del banano .....	24
Tabla 3.6 Especificaciones para el sistema del reactor.....	28
Tabla 3.7 Parámetros del banano por medio del sistema a escala piloto .....	29
Tabla 3.8 Gastos por activos fijos .....	29
Tabla 3.9 Costos variables .....	30
Tabla 3.10 Indicadores económicos.....	30

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del problema

El banano corresponde a uno de los productos ecuatorianos más importantes para el país, debido a su alto índice de producción y de exportación. Estos índices generaron 7.0 y 5.2 millones de toneladas respectivamente en el año 2012, gracias a la gran demanda de consumo a nivel mundial. De esa manera, en el sector alimenticio varias empresas se dedican a su procesamiento y congelación, con el fin de preservarlo y exportarlo hacia otros continentes (Aguilar, 2015).

Este proceso conlleva una serie de operaciones físicas y químicas para cumplir con los estándares de calidad más altos para su consumo; siendo una parte trascendental del proceso, el uso de aguas ácidas para prevenir la oxidación del fruto. Debido a las propiedades inhibidoras del ácido ascórbico y a las reguladoras de pH del ácido cítrico, es posible reducir la actividad enzimática de los taninos, compuesto del banano causante de la oxidación, mejorando la calidad de éste y a su vez, alargando el tiempo de consumo (Gil, Rojano, & Guerrero, 2012).

Sin embargo, el uso de esta solución genera el desperdicio de altas cantidades de agua y de ácidos, al ser utilizados por cortos períodos de tiempo y de forma continua. Esto ocurre por la rápida saturación de la solución, aproximadamente cada 3 horas, que al llegar al límite de tiempo es desechada sin ningún tratamiento. Anualmente, se estima que se desechan 1.5 millones de litros de agua y 40 000 kilogramos de ácidos como agua ácida (Parra & Valarezo, 2021).

El agua es un recurso vital cada más vez más escaso debido a la mala gestión, con grandes repercusiones al ambiente y la sociedad. Además, de la gran demanda de agua y de ácidos como materia prima en el proceso, que representa un gasto elevado.

Esta solución al ser desechada genera destrucción de la infraestructura como los pisos y rejillas metálicas que se corroen.

Todo lo antes expuesto es consecuencia de un proceso que no abarca un sistema de recuperación de ácidos orgánicos, que permita manejar el desecho y reutilizarlo, basándose en la economía circular. Por lo cual, este estudio abarca la evaluación del modelo experimental para la recuperación de ácidos orgánicos basado en la precipitación tanino-gelatina en el proceso anti oxidativo del banano. De esta manera, su alcance no se direcciona solamente a la empresa implicada, sino a todo un sector productivo, en el cual los ácidos orgánicos son parte esencial en sus operaciones.

## **1.2. Justificación del problema**

El uso de antioxidantes para la conservación y preservación de las frutas es necesario para las empresas que se dedican a comercializarlas, pues sin ello no cumplen los estándares de calidad. De hecho, el pardeamiento enzimático es la segunda causamás importante de pérdida de calidad en frutas y verduras; por tanto, los métodos para prevenirlo han sido objeto de investigación (Ioannou & Ghoul, 2013). La reacción química del pardeamiento requiere un catalizador, enzima polifenol oxidasa; reactantes, polifenoles y oxígeno. Los dos primeros se liberan cuando las células de la fruta se cortan o machacan; por lo tanto, la etapa de procesamiento es crítica (Sikora et al., 2019).

Uno de los más clásicos antioxidante en la industria alimentaria es el ácido ascórbico, el cual ralentiza la reacción de pardeamiento al sacrificarse oxidándose a sí mismo (Bocharova & Bocharova, 2017). También ayuda la combinación con otros ácidos como el cítrico, puesto que un pH ácido inhibe la actividad de la enzima de polifenoles. Cuando el ácido ascórbico se oxida por completo, pierde su poder antioxidante y la reacción de pardeamiento resurge (Bocharova & Bocharova, 2017). Por lo tanto, en base a lo explicado, es necesario el cambio de agua de inmersión en el procesamiento del banano, aparte de la implicada actividad microbiana que tiene lugar si no se hace el cambio. Al realizar tal cambio, la solución ácida que sale del proceso se encuentra saturada, con bastante turbiedad, residuos y polifenoles, en específico

taninos. De este modo para reutilizarla es importante eliminar o reducir todo lo antes mencionado (Prommajak et al., 2019).

Dentro de los estudios, se ha encontrado que una manera de remover taninos es mediante la precipitación con proteínas como la gelatina. Hagerman y Butler realizaron un procedimiento de escala experimental, donde se pueden cuantificar los taninos (Hagerman & L, 1978). Sin embargo, ha sido utilizado para clarificar jugos como el de manzana o anacardo (Messier, 2014) (Talasila et al., 2012). También se ha identificado la presencia de taninos en el banano por sedimentación utilizando la reacción con gelatina (Maryati et al., 2020).

Aunque se han realizado varias investigaciones acerca del tema, la visión de incorporar el procedimiento de Hagerman y Butler al final del proceso del baño químico para su reutilización, es un aspecto con el que trata de aportar este proyecto desde el carácter no simplemente investigativo sino experimental a un nivel piloto (Mi Moon et al., 2020) (Prommajak et al., 2018) (Yi et al., 2005). Esto conlleva impactos no solo desde el aspecto económico sino ambiental; demostrando la importancia que recae en este proyecto. Además, marcaría un precedente, no solo para la industria de congelamiento del banano sino para las demás, que incorporan un baño químico en su proceso. Por otra parte, es necesario evaluar el sistema para encontrar antes de su implementación en piloto, las condiciones más eficientes de operación.

Desde el punto de vista económico, la reutilización de las aguas ácidas ahorra gastos en materias primas: agua y ácidos al ser estos últimos altamente costosos. Además, al evitar el desecho de ácidos directamente en el suelo, se previenen daños futuros como corrosión, que atentan contra la inocuidad del ambiente de producción. También, se reduce el gasto de consumo de agua que, por el gran volumen utilizado, ocasiona un impacto ambiental relacionado con la escasez de este recurso. El manejo eficiente del agua está plasmado en el sexto objetivo de desarrollo sostenible que es “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” (Naciones Unidas, 2015).

En conjunto, estos dos conceptos se fusionan en uno llamado economía circular, cuyo objetivo es reducir el gasto de materias primas y la generación de desechos, cerrando los ciclos económicos o ecológicos de los recursos. Actualmente, este concepto se encuentra en boga, por lo que muchas empresas lo están acoplando a sus procesos, tales como Schneider Electric, AB InBev o en Ecuador Nestlé o Tesalia CBC. (Endara, 2020) (Thornton, 2019)

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar un modelo experimental de recuperación de ácidos orgánicos mediante el análisis de las condiciones de operación más eficientes para su implementación a escala piloto.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Definir las condiciones de operación más eficientes en el proceso de recuperación de ácidos orgánicos mediante experimentación.
- Verificar el funcionamiento del modelo experimental a través del análisis estadístico de los parámetros de calidad del banano sumergido en la solución ácida.
- Implementar el reactor del proceso a escala piloto basado en la precipitación tanino-gelatina para la examinación de su funcionamiento con las condiciones de operación encontradas.

### **1.4. Marco teórico**

#### **1.4.1. Importancia del banano en el Ecuador**

Ecuador, considerado en el puesto 4 del ranking mundial de los principales países productores de banano, con 7.0 millones de toneladas en el año 2012, cosecha en su mayoría banano de tipo Cavendish al ser de consumo masivo a nivel mundial, por cual se le denomina como de clase Premium (Aguilar, 2015). Este banano se ubica en las provincias de la costa en las cuales las condiciones climáticas y las

características del suelo benefician los cultivos, tales como Guayas, el Oro y los Ríos en las que se genera el 90% de la producción ecuatoriana. (Parra & Valarezo, 2021) Por medio de un proceso exhaustivo manteniendo los más altos estándares de calidad, se exporta este producto a diversos países de manera masiva, siendo considerado Ecuador como el 26.6% de la exportación mundial según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el TradeMap. (Aguilar, 2015). De este porcentaje la Unión Europea compra el 34%, puesto que la demanda se concentra en pocos países.

En el país se encuentran cultivadas 180331 hectáreas, y además existen aproximadamente 35000 sin inscribir según el Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cabe notar que, lo que lo diferencia y le da una ventaja competitiva al banano ecuatoriano, se debe a un excelente clima, poca incidencia de plagas y enfermedades, y las propiedades de la tierra; aparte del sabor diferenciador y la riqueza en vitaminas y nutrientes beneficiosos para las personas (Bolívar & Díaz, 2015).

Es importante resaltar que, el 95% del banano producido termina siendo exportado, por lo que ha habido un auge de grandes compañías exportadores como Agroficial S.A. De hecho, Ecuador produjo cerca del 18% del banano que fue comercializado durante los años 70 y 80 alrededor del mundo, porcentaje que aumentó hasta el 30% en los noventa. Mediante esta industria, se estiman una gran cantidad de empleos generados de aproximadamente 380000 personas (Arias, Dankers, Liu, & Pilkauskas, 2004).

#### **1.4.2. Tanino**

Compuestos que forman parte de los Polifenoles, solubles en agua que están presentes en varias frutas para generar su coloración característica, los cuales según su estructura química y su origen pueden ser hidrolizables, no hidrolizables y florotaninos (Fernández, 2007). Contienen grupos hidroxilos y otros relacionados como los carboxilos que les ayudan

en la formación de complejos. Se caracterizan por ser parte de dos tipos de reacciones: En primer lugar, el pardeamiento enzimático en presencia del oxígeno al combinarse grupos amino o sulfhidrilo de la proteína con los azúcares reductores, cambiando la estructura de la fruta de manera no deseada (Parra & Valarezo, 2021). En segundo lugar, el acomplejamiento mediante la presencia de proteínas al interactuar los grupos hidroxilo fenólicos con las áreas hidrofóbicas de la proteína, tal como la gelatina (Yi, Cheng, & Xing, 2015).

Se han realizado varias investigaciones en relación a los taninos ya que tienen una amplia variedad de aplicaciones tanto en la medicina como la industria alimentaria, y además se encuentran abundantemente en la naturaleza, aunque su disponibilidad depende de muchos factores como localización, especie, población, edad de la planta entre otros. Sus características físicas son: color amarillo claro o blanquecino, olor extraño y sabor astringente (Khanbabaee & Van Ree, 2001).

Los taninos se pueden subdividir en dos categorías: taninos hidrolizables como los galotaninos, elligataninos, y proantocianidinas; y taninos condensables. Los taninos condensables también se pueden hidrolizar en condiciones adecuadas y son los responsables de la sensación de sequedad en la boca al tomar vino. Cabe recalcar que tanto los taninos hidrolizables como los condensables se han identificado en el banano, incluso en la piel dentro de la cual la mayoría son condensables (Khanbabaee & Van Ree, 2001).

### **1.4.3. Agua ácida**

Solución de agua con ácidos orgánicos en este caso ácido cítrico y ascórbico, que permite regular el pH e inhibir la acción enzimática de los taninos respectivamente, para evitar la oxidación del banano regulando así sus condiciones óptimas de exportación para su preservación. Se caracteriza por poseer un tiempo de saturación debido a la solubilidad de los taninos en el agua, por lo cual, al exponer por 10 a 12 segundos al banano en el agua, la utilidad del agua ácida se reduce a 3 horas (Parra & Valarezo, 2021).

Esta técnica de baño químico utiliza una mezcla de ácidos puesto que de esta manera el tiempo de almacenamiento y vida de los productos, en este caso bananos, aumenta. El ácido ascórbico actúa como antioxidante, siendo de los más utilizados en la industria. Mientras que el añadirle el ácido cítrico, además de que también es un antioxidante, ayuda a que el pH se mantenga bajo lo que ocasiona que la enzima polifenol oxidasa se inhiba pues esto ocurre a pH menores a 3.0. Es importante dar a denotar que la eficacia de estos agentes depende a su vez de factores ambientales como lo son la actividad del agua, temperatura, pH, luz, entre otros (Bocharova & Bocharova, 2017).

#### **1.4.4. Reacción entre tanino y gelatina**

Reacción de acomplejamiento en la que los grupos hidroxilo fenólicos del tanino ingresan a las áreas hidrofóbicas de la gelatina, interactuando por enlaces de hidrógeno con los grupos polares de la proteína, tales como: carbonilo, péptido y guanidina. Tiene lugar en dos etapas: la primera parte con una interacción débil en la que el tanino se ubica en la superficie de una gelatina formando el complejo, y la segunda parte en la que los complejos forman redes hasta que ocurra la precipitación (Yi, Cheng, & Xing, 2015).

Cabe mencionar, la interacción del tanino y la gelatina tiene la capacidad de conformar tanto complejos solubles como insolubles, cuya relación está asociada con la concentración y el tamaño de las moléculas. A su vez, el peso molecular y la estructura de estas contribuyen a la precipitación, siendo así estos parámetros de suma importancia para la generación de la reacción. Tal es el caso de los taninos de gran tamaño que no logran ingresar entre las moléculas de la proteína, los de bajo tamaño no son capaces de crear formar redes efectivas para la precipitación y por último los de tamaño mediano considerados los mejores para ser partícipes de la reacción (Khanittha La-ong, Tanyaporn, & Wilasinee, 2017).

#### **1.4.5. Parámetros de calidad del banano**

##### **Acidez**

Magnitud que cuantifica el grado de acidez de una sustancia por medio del uso de un

titulador con hidróxido de sodio 0.1 N como solución titulante (Hervas, 2011).

## **pH**

Medida de la concentración de iones de hidrógeno que conforman una sustancia, con la finalidad de determinar cuan ácida o alcalina es, por medio de una escala del 0 al 14 que se puede determinar con un potenmetro (Hervas, 2011).

## **Colorimetría**

Método para cuantificar la percepción del color en cuanto a la variedad e intensidad, para lo cual es indispensable el uso de un colorímetro que proporciona valores a través de la interacción con la luz (Esquerre, 2017). Una de las expresiones numéricas del color se describe por medio de L, el cual representa la claridad (X-Rite, 2002).

## **Grados Brix**

Medida que permite determinar el porcentaje de sacarosa presente en una muestra, a través de la cantidad de sólidos solubles, para lo cual es necesario el uso de un refractómetro (Hervas, 2011)

### **1.4.6. Planta Piloto**

El proceso que permite unir diferentes partes con características específicas para que funcionen de forma precisa como un todo armónico, representando así procesos de los que se obtengan productos de beneficio para el ser humano. Para lograr este objetivo es necesaria la interacción de fenómenos tanto simples como complejos que forman parte de las bases de la ingeniería química (Anaya & Pedroza, 2008).

La planta piloto tiene como principal función, la predicción del comportamiento de la planta a escala industrial para un correcto desarrollo, funcionamiento y control cuando sea construida. No obstante, se puede realizar con una planta industrial ya existente para poder analizar efectos de cambios en ciertas condiciones de operación, así no parar la producción hasta tener la seguridad de que su implementación va a ser efectiva (Anaya & Pedroza, 2008).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para la evaluación del modelo experimental de recuperación de ácidos orgánicos basado en la precipitación tanino-gelatina en el proceso de antioxidación del banano, se efectúa en seis etapas presentadas a continuación en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Etapas en la metodología

### 2.1. Revisión bibliográfica

#### 2.1.1. Proceso

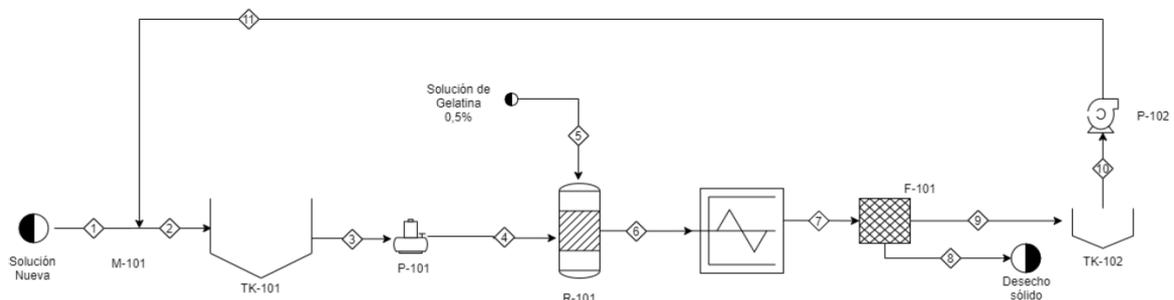


Figura 2.2 PFD Sistema de recuperación de ácidos

Fuente (Parra & Valarezo, 2021)

Se realizaron pruebas experimentales del proceso planteado en el proyecto de pre grado de Parra y Valarezo, para validar su funcionamiento a las condiciones de operación indicadas en el mismo, que incluía tres etapas principales: reacción, centrifugación y filtración, y cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.2 (Parra & Valarezo, 2021). El proceso fue modificado en la etapa de reacción para la precipitación tanino-gelatina, incluyendo el mezclado de los reactivos, tal como se indica en la literatura revisada (Hagerman & Butler, 2007).

### **2.1.2. Agua de inmersión**

Se consultaron distintas fuentes bibliográficas, dentro de las cuales se destacan tres artículos científicos que se usaron como base para la experimentación con agua de inmersión. En base a la primera investigación (Naczk, Oickle, Pink, & Shahidi, 1996) existe un efecto en la capacidad precipitante de la proteína, la cual puede ser gelatina, dependiendo de su concentración. Esta capacidad es más fuerte a bajas concentraciones de solución de proteína. Por otra parte, en el estudio de (Prommajak, Leksawasdi, & Rattanapanone, 2018). se evidenciaron los resultados al variar no solo la concentración de gelatina sino también el tiempo de mezclado. Sin embargo, cabe destacar que su metodología implicó la mezcla de gelatina directamente con la solución tanínica, mientras que, en las demás fuentes bibliográficas se preparó la solución de gelatina antes de mezclarla con la solución tanínica. Por último, en el artículo de (Yi, Cheng, & Xing, 2015) se estudió el efecto de la relación de cantidad tanino/gelatina (T/G) en el tamaño de la partícula de tanino precipitada. En este se determinó que el punto crítico para obtener unos tamaños de partícula más grandes era 0.8 T/G, es decir en relaciones menores el tamaño era del nivel de nanoesferas. Por tanto, según el estudio mencionado, mientras mayor sea la relación T/G mayor será el tamaño del complejo tanino-gelatina que se precipita producto de la reacción.

### **2.2. Experimentación con agua de inmersión**

Se efectuó el proceso basándose en los artículos científicos antes mencionados, con la finalidad de variar condiciones trascendentales y factibles, en busca de las mejores condiciones de operación. Se realizó una comparación entre los parámetros del agua de inmersión contaminada (materia prima) con los del agua de inmersión recuperada (sobrenadante). Cabe mencionar, el agua de inmersión contaminada es la que se satura a las 3 horas de uso en la inmersión de bananos.

Los parámetros analizados corresponden a los grados Brix (°) y pH. Se ha utilizado el algoritmo de decisión mostrado en la Figura 2.3 para conocer los pasos a seguir en la experimentación y obtener los resultados adecuados.

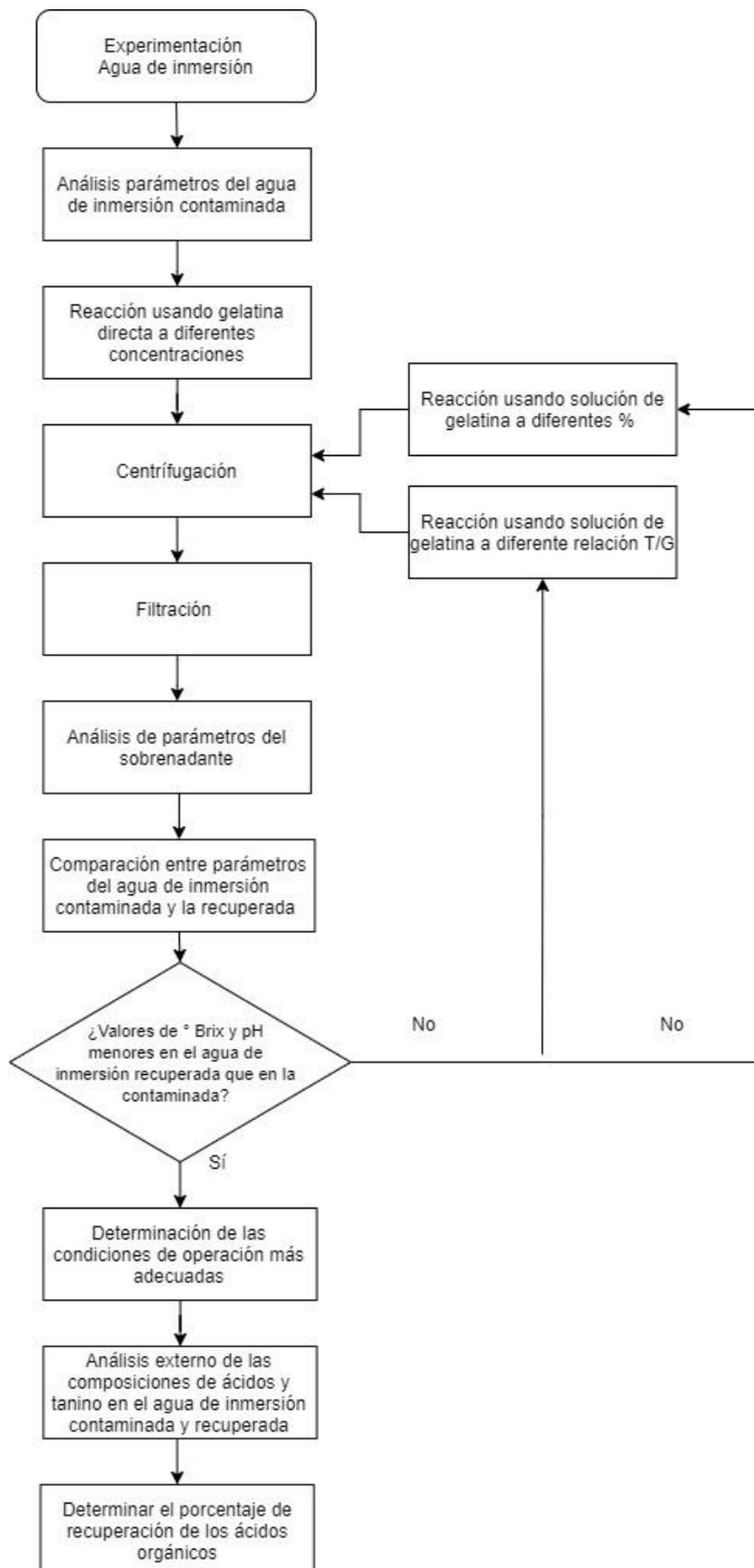


Figura 2.3 Algoritmo de decisión experimentación con agua de inmersión

### 2.2.1. Primer caso: Gelatina directa

Las variables analizadas en las pruebas experimentales del primer caso se presentan en la Tabla 2.1, a continuación:

**Tabla 2.1 Variables independientes y dependientes en el primer caso**

Variables	
Independientes	Dependientes
Cantidad de gelatina	°Brix
Tiempo de reacción	pH

La reacción se realizó con gelatina pura en contacto directo con el agua de inmersión contaminada a diferentes concentraciones que van desde 0.2 g gelatina/100 ml agua de inmersión contaminada hasta 1 g gelatina/100 ml agua inmersión contaminada en intervalos de 0.2. Estos dos reactivos, gelatina y agua de inmersión contaminada, se mezclaron durante 5 minutos y 15 minutos independientemente, realizando así la variación del tiempo de reacción.

### 2.2.2. Segundo caso: Relación tanino-gelatina

Las variables analizadas en las pruebas experimentales del segundo caso se presentan en la Tabla 2.2, a continuación:

**Tabla 2.2 Variables independientes y dependientes en el segundo caso**

Variables	
Independientes	Dependientes
Relación T/G	°Brix
Relación volumen solución gelatina - agua de inmersión contaminada	pH

Se realizó una solución de gelatina modificando la relación másica T/G variando la cantidad de gelatina, en el rango de 0.7 a 1 por intervalos de 0.1. Además, la relación

volumen solución de gelatina (gel) - agua de inmersión contaminada (aic) usada en la reacción se varió de 2 ml - 10 ml y 2.5 ml - 10 ml respectivamente.

### 2.2.3. Tercer caso: Solución de gelatina

Las variables analizadas en las pruebas experimentales del tercer caso se presentan en la Tabla 2.3, a continuación:

**Tabla 2.3 Variables independientes y dependientes en el tercer caso**

Variables	
Independientes	Dependientes
Concentración de solución de gelatina	°Brix pH

En primer lugar, se prepararon soluciones de gelatina a las concentraciones de 0.5, 1, 7 y 25 %, con esto se efectuó el proceso bajo las condiciones de reacción y de volumen solución de gelatina – agua de inmersión contaminada más adecuadas analizadas en los casos anteriores, para reducir el rango según los mejores resultados. En segundo lugar, se realizaron soluciones de gelatina en el rango de 0.3 a 1.2 % en intervalos de 0.2.

### 2.2.4. Análisis de composiciones de ácido cítrico, ascórbico y polifenoles totales

Se realizaron pruebas experimentales con las mejores condiciones de operación para analizar las composiciones de ácido cítrico, ascórbico y polifenoles totales presentes en las aguas de inmersión. Estos ensayos fueron analizados a través del laboratorio externo UBA-LAB.

Mediante la composición del agua de inmersión contaminada que se utilizó en el proceso de la empresa, especificada en la Tabla 2.4 y la composición del agua de inmersión recuperada, se determinó el porcentaje de recuperación de los ácidos orgánicos y el % de remoción de polifenoles.

**Tabla 2.4 Composición másica del agua de inmersión contaminada**

<b>Compuesto</b>	<b>Composición másica (% m/m)</b>
Ácido cítrico	0.93
Ácido ascórbico	2.73
Polifenoles Totales	1.52

### **2.3. Experimentación con banano**

Se realizó experimentación con bananos, tomando como guía los parámetros y rangos de control de calidad de la empresa, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 2.5 Rangos de aceptación de los parámetros para la calidad del banano**

<b>Parámetro</b>	<b>Rango de aceptación para calidad</b>
pH	4 - 5
°Brix	19 - 21
Color (L)	65 - 75
Acidez	0.4 - 0.6

Fuente: Empresa de congelamiento de banano.

#### **2.3.1. Mezcla agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva**

Se experimentó con mezclas de agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva, variando el % que componía cada una de estas en un rango desde 100% de agua recuperada hasta 0% de agua recuperada, con un intervalo del 10%. A todas las mezclas obtenidas se las sumergió en igual cantidad de bananos y se procedió a tomar los parámetros de calidad a estos, es decir °Brix color, pH y acidez. Cabe destacar, el agua de inmersión nueva es aquella que no ha pasado por el proceso de inmersión de bananos y se encuentra recién preparada.

#### **2.3.2. Cantidad de reutilizaciones posibles**

Se experimentó tres veces con el agua de inmersión recuperada. El procedimiento

consistió en realizar el método de recuperación de ácidos orgánicos para el agua de inmersión desechada de la planta, luego efectuar la mezcla de agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva con la composición más adecuada hallado previamente. Se sumergió una cierta cantidad de bananos (aproximadamente 250 gramos) hasta que el agua ácida se observara saturada. Se tomaron los parámetros de control de calidad del banano. Luego, al agua ácida saturada se le realizó el procedimiento de recuperación para posteriormente efectuar la mezcla de solución ácida recuperada-solución ácida nueva y saturar esa solución con bananos a los que se les tomaron los parámetros. Finalmente, a esta última agua ácida saturada se le realizó el procedimiento descrito anteriormente, tomando los parámetros de control de calidad a los bananos que se utilizaron en esta ocasión

## 2.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico mediante Minitab para identificar si hay existencia de variabilidad entre muestras. Estas muestras se tomaron por 5 días, en los cuales se realizaron 5 ensayos por día, por tanto, obteniendo por cinco veces los parámetros de control de calidad del banano como lo son el color, acidez, pH y °Brix. Con los datos obtenidos se realizó una prueba de atipicidad con el test de Grubbs. Luego, se utilizó la herramienta de gráfica de Probabilidad en Minitab, que utiliza la prueba de Anderson-Darling, para identificar la existencia o no de normalidad en los datos. Por último, se realizaron pruebas de análisis de varianza para los 4 parámetros de control de calidad utilizando la ANOVA de un factor en el caso de datos paramétricos o Kruskal-Wallis en el caso de datos no paramétricos. Las pruebas de hipótesis a realizar son:

**Tabla 2.6 Pruebas de hipótesis**

ANOVA	Kruskal-Wallis
Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_n$	Ho: $\tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2 = \dots \tilde{\mu}_n$
Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \mu_n$	Ha: $\tilde{\mu}_1 \neq \tilde{\mu}_2 \neq \dots \tilde{\mu}_n$

## 2.5. Implementación del reactor a escala piloto

Se efectuó un diagrama de flujo de procesos basado en el proyecto de pregrado de

Parra y Valarezo con las modificaciones según la revisión bibliográfica y tomando en consideración ciertos factores en cuanto a la reducción de equipos (Parra & Valarezo, 2021).

Luego, se determinaron las especificaciones del reactor a escala piloto, así como de las cantidades necesarias de materia prima, para un desempeño adecuado según lo requerido.

Finalmente, al tener los equipos instalados en planta se realizó el proceso de la reacción basándose en las condiciones obtenidas en la experimentación con agua de inmersión. Su funcionamiento se verificó a través del estudio de los parámetros de calidad del banano que al ser sumergidos en la mezcla obtenida y estar dentro de los rangos aceptables Tabla 2.5 validan la operación del proceso.

## 2.6. Análisis económico

Se realizó un análisis económico tomando en cuenta costos fijos, variables, la depreciación, impuestos, el capital de trabajo y el capital invertido. Se utilizaron datos como gastos por activos fijos, ahorro de materias primas, cantidad y sueldo de operarios y gastos por servicios básicos. Es importante remarcar que ciertos datos fueron otorgados por la empresa, de este modo el proyecto asegura una perspectiva realista.

Los gastos de materia prima se basaron en los precios de cada insumo, los cuales fueron compartidos por la empresa de acuerdo a sus proveedores y se describen a continuación:

**Tabla 2.7 Precios de materia prima**

<b>Materia prima</b>	<b>Precio (\$/kg)</b>
Ácido ascórbico	4.89
Ácido cítrico	0.96
Agua	0.00067
Gelatina	6.45

Fuente: Otorgados por la empresa alimenticia

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

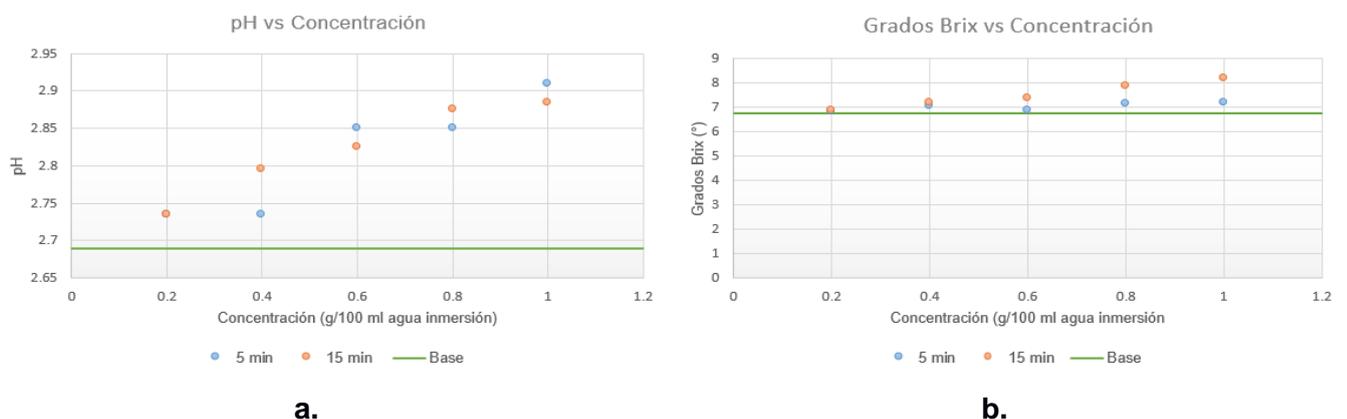
Los resultados se obtuvieron por medio de la experimentación con el agua de inmersión, posterior a ello con los bananos para la ejecución del análisis estadístico. Finalmente, el análisis económico respecto a la implementación a escala industrial del proyecto.

### 3.1. Experimentación con agua de inmersión

Se realizaron gráficas con los datos de los parámetros del agua inmersión recuperada después del proceso aplicado, ° Brix y pH, siendo los indicadores de la reducción del contaminante. Mientras más bajo sea el valor de pH, denota que el agua de inmersión tiene mayor concentración de ácidos, estos son los compuestos que se desean recuperar. A su vez, los °Brix deben disminuir debido a que los residuos del banano, los cuales contienen sacarosa, se remueven del agua de inmersión por medio del proceso de recuperación.

Cabe mencionar, la línea base color verde en cada gráfica representa el valor del parámetro en el agua de inmersión contaminada, antes de aplicar el proceso de recuperación. En base a esta se realizó la comparación para determinar si hay reducción del contaminante.

#### 3.1.1. Primer caso: Gelatina directa

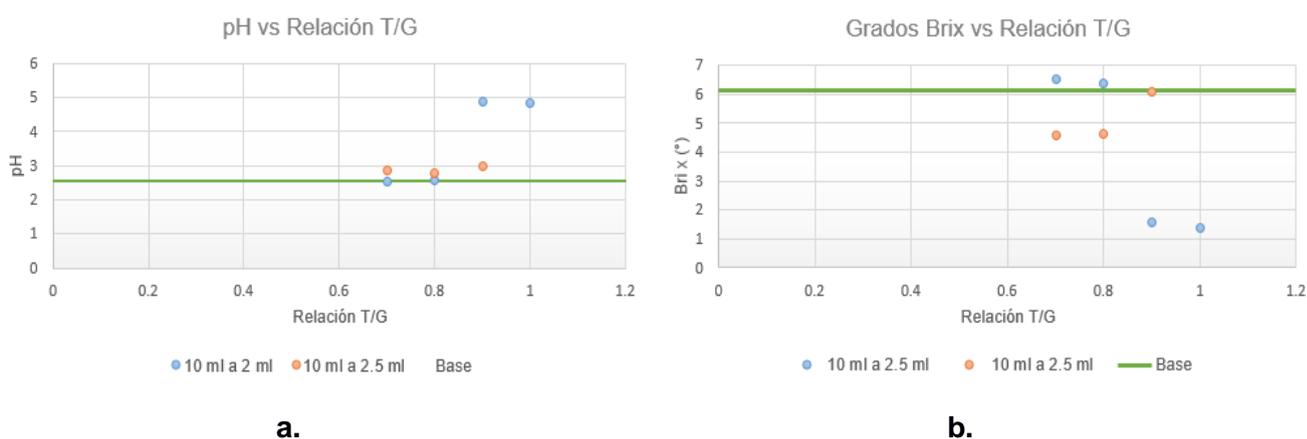


Gráfica 3.1 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el primer caso

La Gráfica 3.1 (a) reflejó que el pH no tiene una disminución en ningún valor de concentración del rango de 0.2 a 1, en cuanto a la línea base. De igual manera, la Gráfica 3.1 (b) no presentó disminución en el parámetro de °Brix en ningún punto dentro del rango usado, a altas concentraciones aumenta debido a la interferencia de la cantidad de gelatina respecto al contenido de sacarosa. Por ello, se determinó que con el uso de gelatina directa no hay reducción del contaminante, por lo cual no fue una opción viable.

Cabe destacar, en la Gráfica 3.1 (a) y (b) se visualizó similitud entre los datos obtenidos con el tiempo de reacción de 5 minutos y el de 15 minutos, siendo en algunos puntos valores iguales como en concentración de 0.2 g gelatina/100 ml agua de inmersión contaminada. La diferencia promedio entre puntos en el pH fue de 0.027 y en °Brix de 0.492. Por lo cual, al ser las diferencias menores a 0.5, el tiempo elegido es de 5 minutos para la mezcla en la etapa de reacción del proceso. Esto representa menos gasto en electricidad por el uso del agitador y el beneficio de un proceso más ágil. Además, en este tiempo se observó una menor producción de espuma.

### 3.1.2. Segundo caso: Relación T/G



**Gráfica 3.2 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el segundo caso**

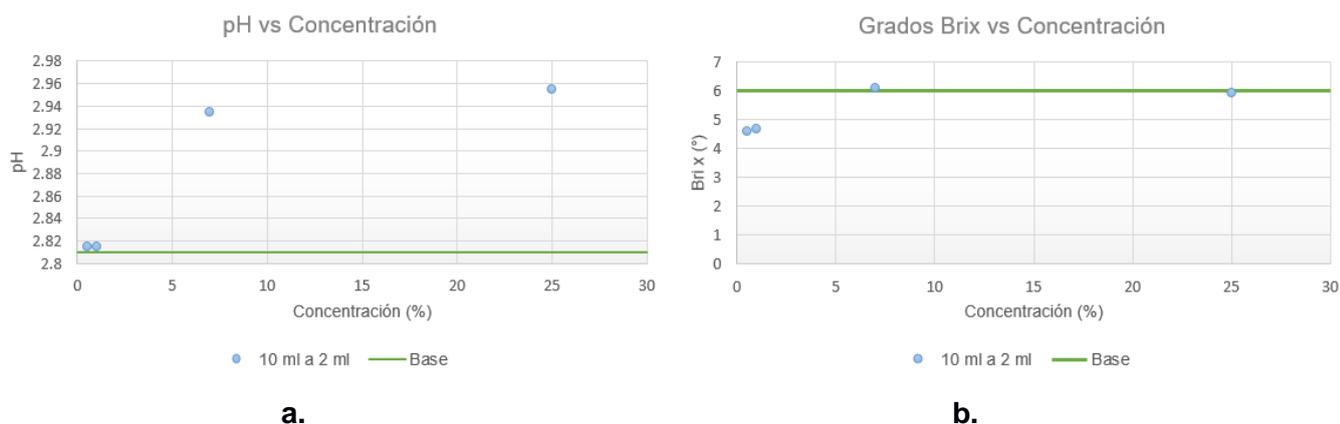
La Gráfica 3.2 (a) presentó que en el rango de 0.7 a 1 de relación T/G no existe disminución en el parámetro de pH. Sin embargo, en la Gráfica 3.2 (b) si se figuró una reducción de los °Brix especialmente en la relación T/G de 0.9 y 1. No obstante, como los dos parámetros deben disminuir se descartó el uso de estas relaciones en

el proceso.

Además, en la Gráfica 3.2 se denotó la diferencia entre el uso del volumen agua de inmersión contaminada – solución de gelatina en los cuales para (a) hay similitud en los primeros puntos 0.7 y 0.8 de relación T/G, con una diferencia promedio de 0.272. Debido a que la reducción de costos de materia prima es requerida en el proyecto, se eligió el uso del volumen 10 ml agua de inmersión contaminada – 2 ml gelatina, que implica menores gastos en gelatina.

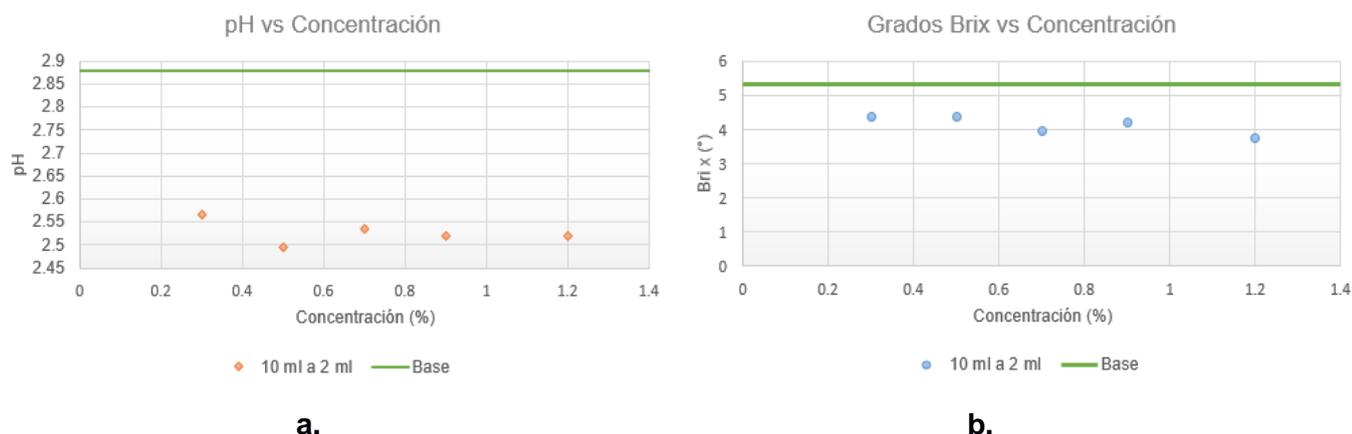
### 3.1.3. Tercer caso: Solución de gelatina

En este caso se realizó dos secciones de pruebas experimentales a un rango amplio en la Gráfica 3.3, mediante la cual visualizando los mejores resultados se redujo el rango en la Gráfica 3.4.



**Gráfica 3.3 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el tercer caso (primer rango)**

La Gráfica 3.3 (a) figuró que solamente en los porcentajes de concentración de gelatina de 0.5% y 1% existe una similitud con el pH base, mientras que con valores altos de concentración hay un aumento en este parámetro. En la Gráfica 3.3 (b) hay disminución en los °Brix únicamente en 0.5% y 1% de concentración. Por lo cual, se escogió un rango menor en el cual estos valores formen parte, para las siguientes pruebas experimentales.



**Gráfica 3.4 Parámetros del agua de inmersión recuperada en el tercer caso (segundo rango)**

La Gráfica 3.4 (a) indicó que en todos los puntos de este rango de 0.3 a 1.2 hay una disminución del pH, siendo en 0.5% el menor valor. Asimismo, en la Gráfica 3.4 (b) se visualizó una reducción de °Brix con similitud entre los puntos. Los datos de cada gráfica reflejaron una desviación de 0.026 y 0.28 respectivamente. Por ello, se escogió este caso como válido al indicar disminución del contaminante según los parámetros. Finalmente, se seleccionó al 0.5% de concentración como la mejor opción para las demás pruebas al ser el que proporcionó un menor pH y al ser representar una cantidad pequeña de uso de gelatina que reduce los gastos del proceso.

### 3.1.4. Análisis de composiciones de ácido cítrico, ascórbico y polifenoles totales

Las condiciones de operación que se eligieron como las mejores se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Mejores condiciones de operación para el proceso**

Condición de operación	Valor
Tiempo de reacción (min)	5
Relación volumen aic – gel (ml - ml)	10 - 2
Condición de la gelatina	En solución
Concentración de gelatina	0.5

A través de esas condiciones se realizaron pruebas experimentales para obtener agua de inmersión recuperada que se envió al laboratorio UBA-LAB. Se obtuvo la composición del agua de inmersión recuperada en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Composición másica del agua de inmersión recuperada**

<b>Compuesto</b>	<b>Composición másica (% m/m)</b>
Ácido cítrico	0.78
Ácido ascórbico	2.22
Polifenoles totales	1.29

De esa manera se determinó que los % de recuperación de ácidos orgánicos y de remoción de polifenoles totales, son:

**Tabla 3.3 Porcentajes de recuperación ácidos orgánicos y de remoción de Taninos**

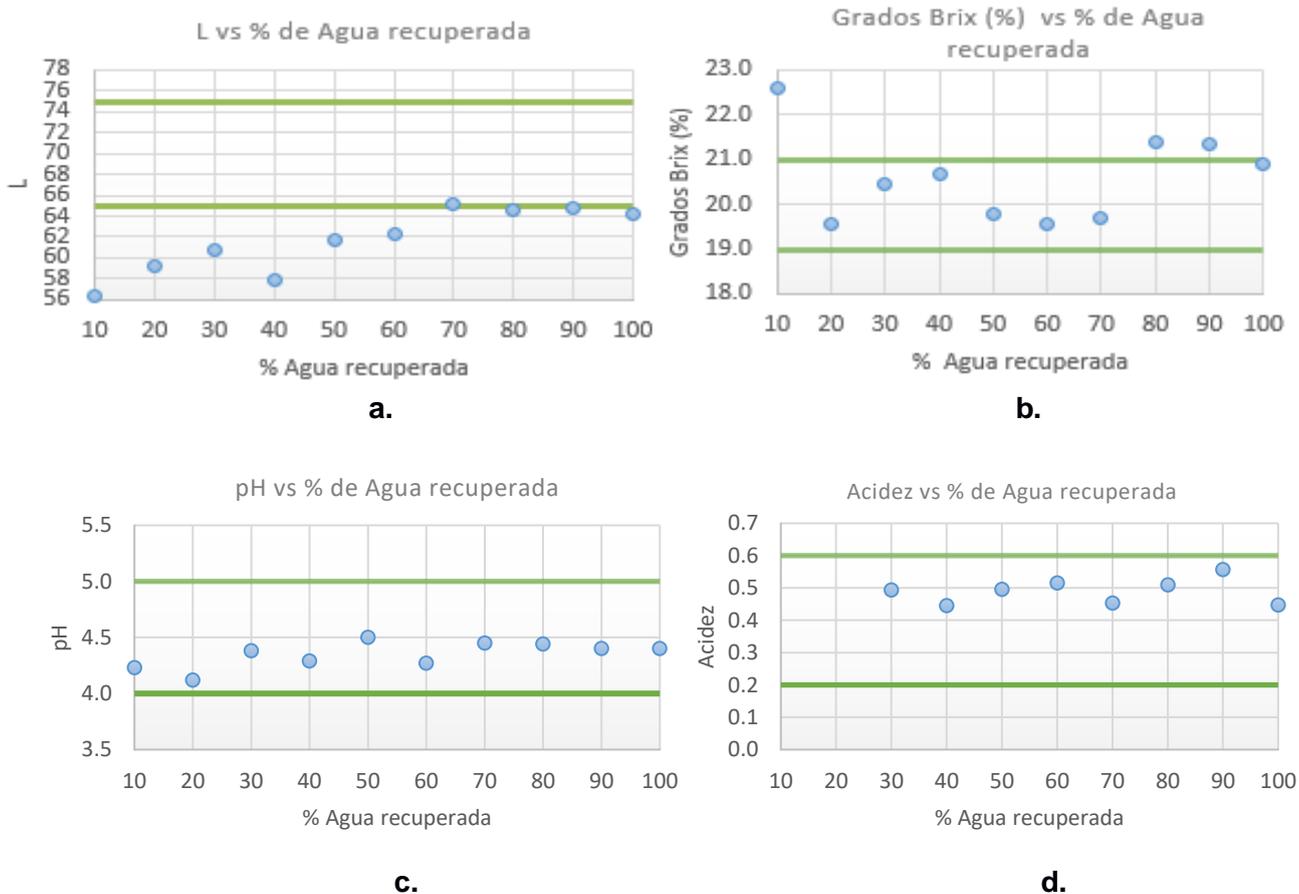
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
% Recuperación Ácido cítrico	83.3
% Recuperación Ácido ascórbico	81.3
% Remoción de Polifenoles totales	15.2

### **3.2. Experimentación con banano**

Se obtuvieron resultados en cuanto a los parámetros de control de calidad del banano de acuerdo a distintas experimentaciones.

#### **3.2.1. Mezcla agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva**

Se realizó el procedimiento descrito en la metodología para obtener mezclas con distintas composiciones de agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva y se obtuvieron los parámetros de calidad de los bananos una vez sumergidos en las distintas mezclas. En las gráficas a continuación se observa los resultados para color, °Brix, acidez y pH.



**Gráfica 3.5 Parámetros de control de calidad del banano a distintos % de mezcla agua de inmersión recuperada/agua de inmersión nueva**

Como se puede observar en la Gráfica 3.5, la mayoría de los resultados para los parámetros de control de calidad del banano se encontraron dentro de los rangos especificados. En la Gráfica 3.5 (a) no se cumple los rangos a excepción de la mezcla del 70% de agua de inmersión recuperada y el 30% de agua de inmersión nueva lo que representa que el banano está más oscuro de lo deseado. En la Gráfica 3.5 (b) los puntos extremos tienen un mayor valor de °Brix indicando mayor cantidad de sacarosa. Esto se asocia a que la actividad anti oxidativa no está siendo efectiva. Dado que la mezcla 70-30 cumple con todos los parámetros de calidad, esta fue la elegida como la más adecuada para el proyecto.

### 3.2.2. Cantidad de reutilizaciones posibles

Se evaluaron los parámetros de control de calidad del banano con 3 reutilizaciones

del agua de inmersión, siguiendo el procedimiento descrito en metodología. Es decir, cada vez que el agua se saturaba con bananos se obtuvieron resultados de éstos, como °Brix, acidez, pH y color. A continuación, se puede observar en la tabla de datos los resultados obtenidos:

**Tabla 3.4 Resultados de los parámetros de calidad del banano por reutilización**

<b>Parámetro</b>	<b>Primera utilización</b>	<b>Segunda utilización</b>	<b>Tercera utilización</b>	<b>Límites de control de calidad</b>
<b>pH</b>	4.32	4.42	4.37	4-5
<b>°Brix</b>	19.08	19.93	19.00	19-21
<b>Color (L)</b>	67.62	66.63	67.29	65-75
<b>Acidez</b>	0.521	0.570	0.456	0.4-0.6

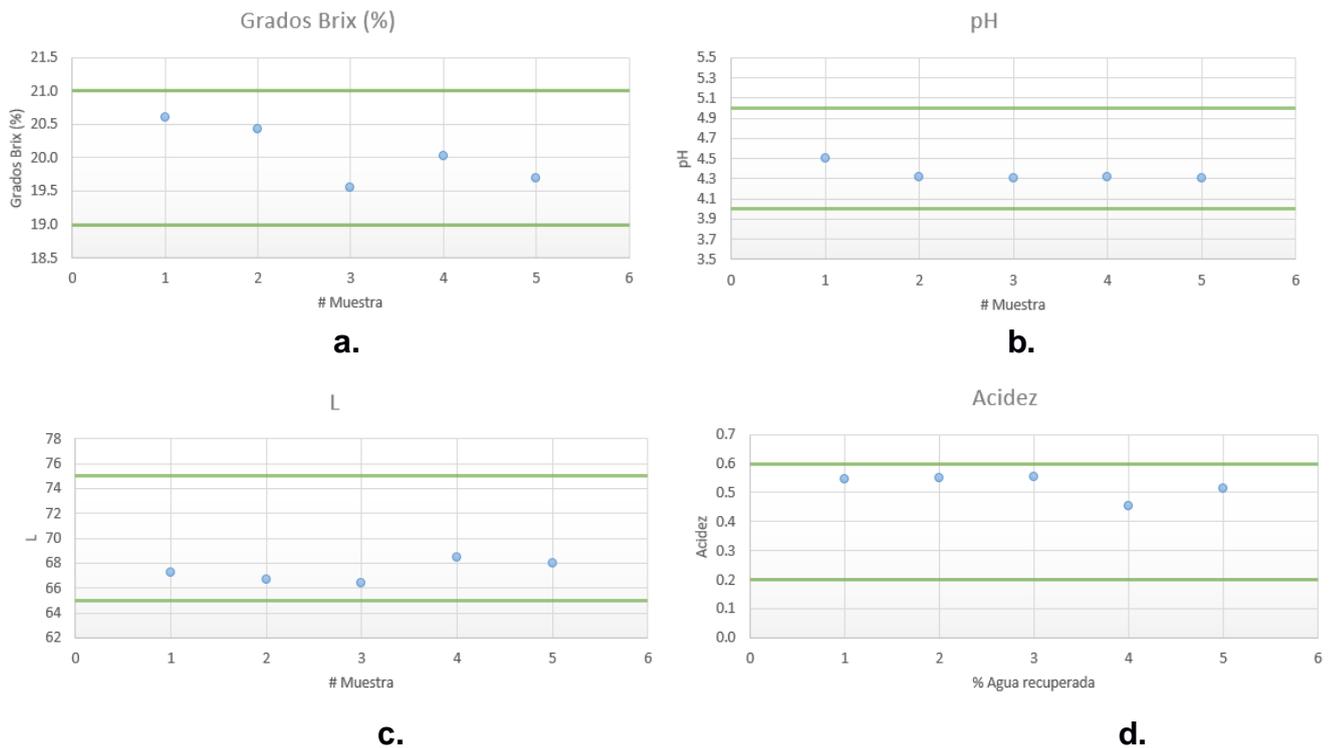
Se apreció que todos los resultados estuvieron dentro de los rangos especificados para los parámetros de control de calidad. Sin embargo, en la tercera reutilización, los bananos se encontraron justo en el límite inferior de control de °Brix.

### 3.3. Análisis estadístico

Se realizaron 5 ensayos por 5 días como se observa en la Tabla 3.5. Se presentan los promedios obtenidos de los ensayos realizados para cada parámetro de control de calidad.

**Tabla 3.5 Promedios de los parámetros de control de calidad del banano**

<b>Muestras</b>	<b># de ensayos</b>	<b>pH</b>	<b>°Brix</b>	<b>Color</b>	<b>Acidez</b>
Muestra 1	5	4.50	20.61	67.26	0.545
Muestra 2	5	4.32	20.43	66.70	0.551
Muestra 3	5	4.30	19.56	66.42	0.555
Muestra 4	5	4.32	20.02	68.44	0.565
Muestra 5	5	4.31	19.70	67.99	0.543

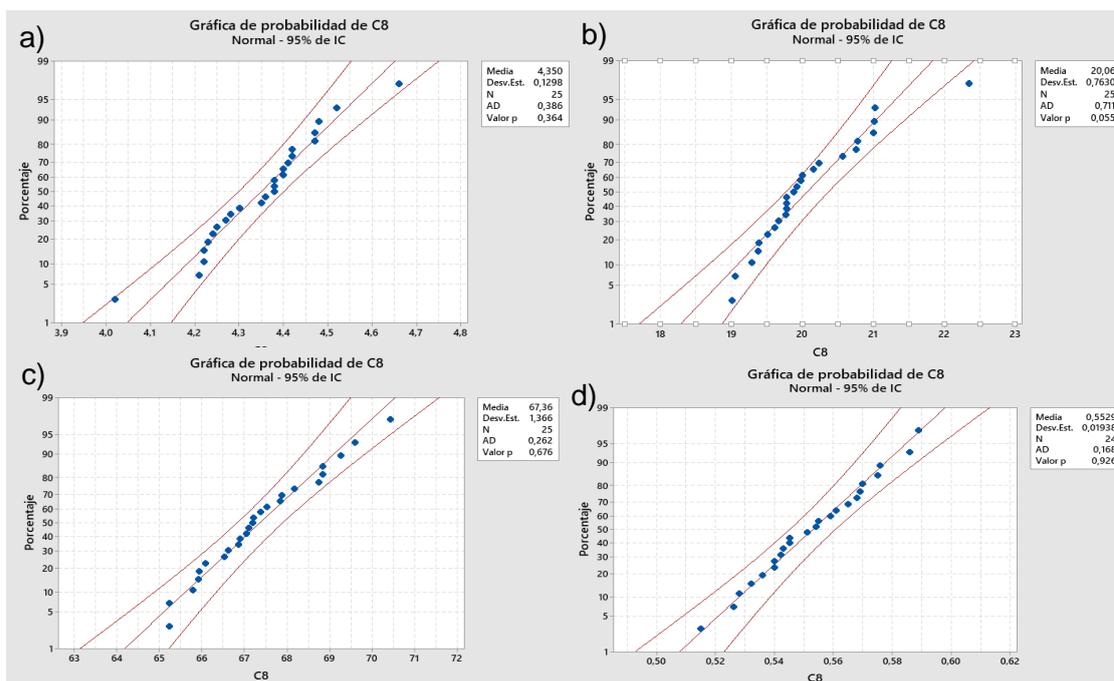


**Gráfica 3.6 Parámetros de control de calidad del banano de las muestras del análisis estadístico**

Se evidencia que todos los promedios se encuentran dentro de las especificaciones de calidad, como se visualiza en la Gráfica 3.6.

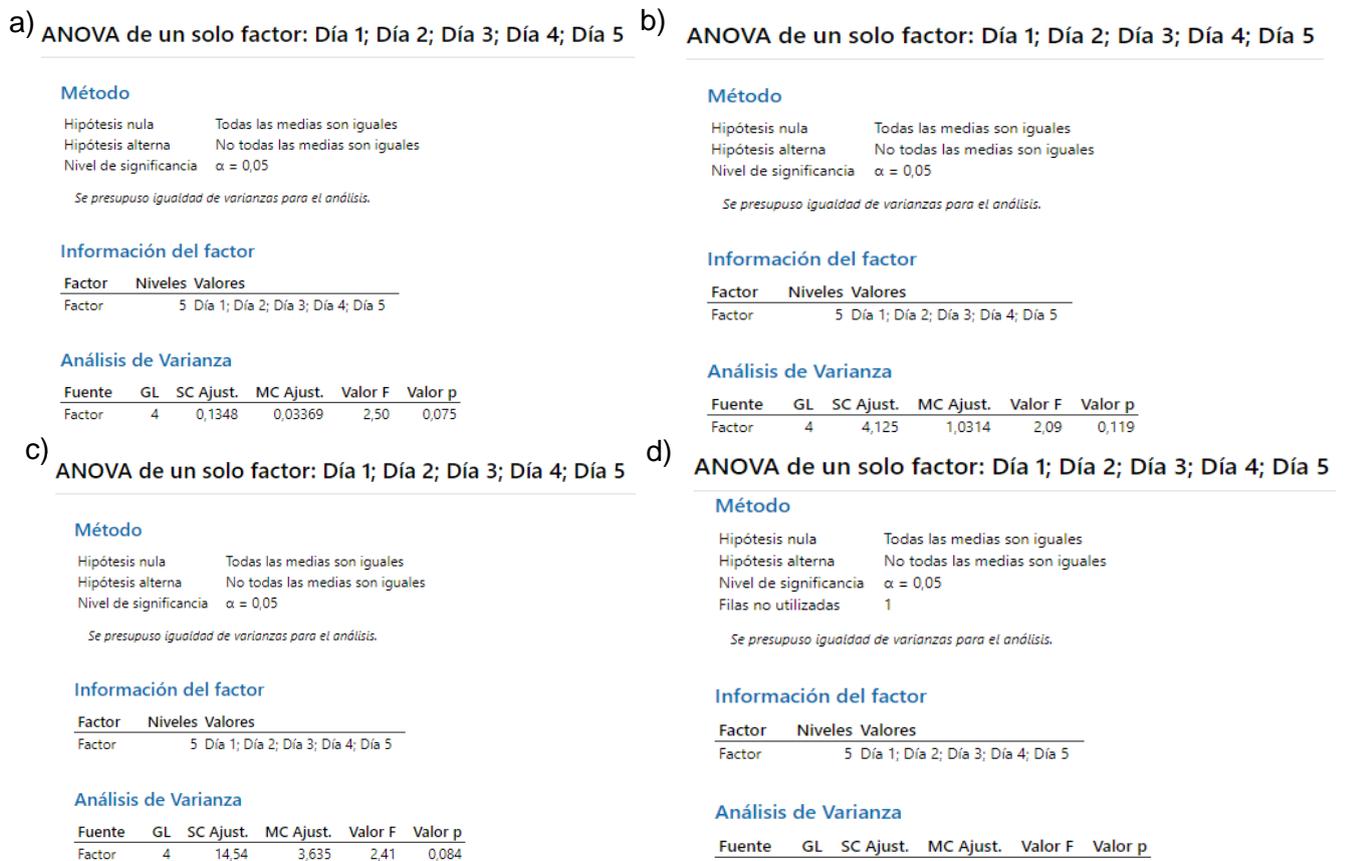
Toda la estadística fue realizada mediante el software Minitab. Se realizaron pruebas de Grubbs para verificar la existencia de valores atípicos, de forma que no interfieran en los posteriores análisis estadísticos. La hipótesis nula en esta prueba es que todos los valores provienen de la misma población normal. Dado que los valores  $p$ , que indican la probabilidad de que se confirme la hipótesis nula, son mayores a 0.05 en todas las muestras con un nivel de significancia de 5%, entonces se puede afirmar que no hay presencia de valores atípicos en los datos utilizados.

Luego se realizaron pruebas de normalidad, utilizando la herramienta gráfica de probabilidad del software Minitab. A continuación, se pueden observar las gráficas indicadas para cada parámetro.



**Figura 3.1 Pruebas de normalidad para: a) pH, b) Brix, c) Color, d) Acidez**

Dado que todos los valores p resultaron ser mayores que 0.05, tomando un intervalo de confianza del 95%, se puede afirmar que los datos obtenidos para cada parámetro tienen una distribución normal. Cabe notar que la hipótesis nula a demostrar en este caso fue si las variables siguen una distribución normal. Luego se realizaron pruebas de igualdad de varianzas para cada parámetro analizado, utilizando el método de Barlett. La hipótesis nula fue que todas las varianzas de una población k son iguales, y la alterna que al menos dos de las varianzas son diferentes. De estas pruebas se obtuvo que en todos los casos la hipótesis nula se cumple, puesto que los p valores fueron mayores a 0.05. Luego de haber determinado lo anterior, se procedió a realizar las pruebas ANOVA de un factor considerando que se trabaja con distribuciones normales. Los resultados se pueden observar a continuación:

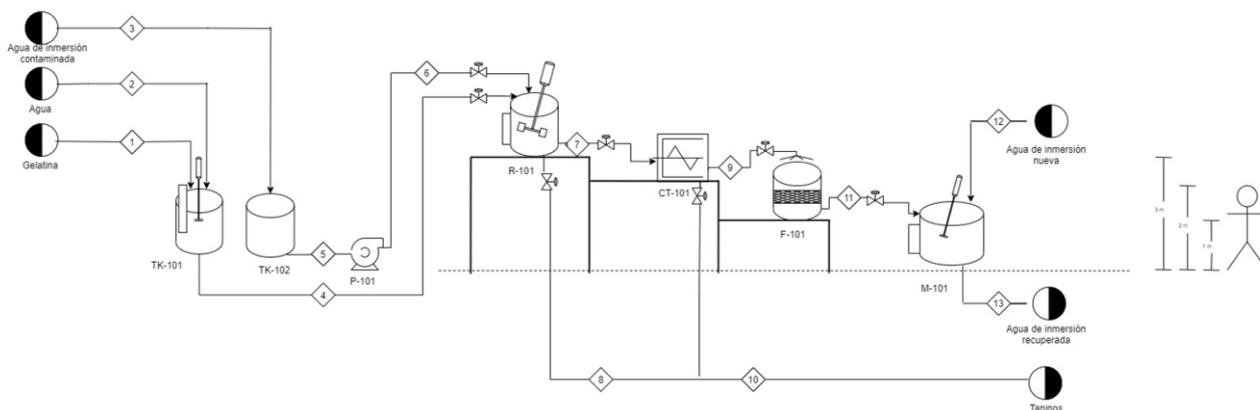


**Figura 3.2 Pruebas de ANOVA de un factor para: a) pH, b) Brix, c) Color, d) Acidez**

Como se puede observar en la Figura 3.2, todos los valores p resultaron mayores a 0.05 indicando que en un intervalo de confianza del 95% no existe diferencia estadística significativa de las medias entre grupos.

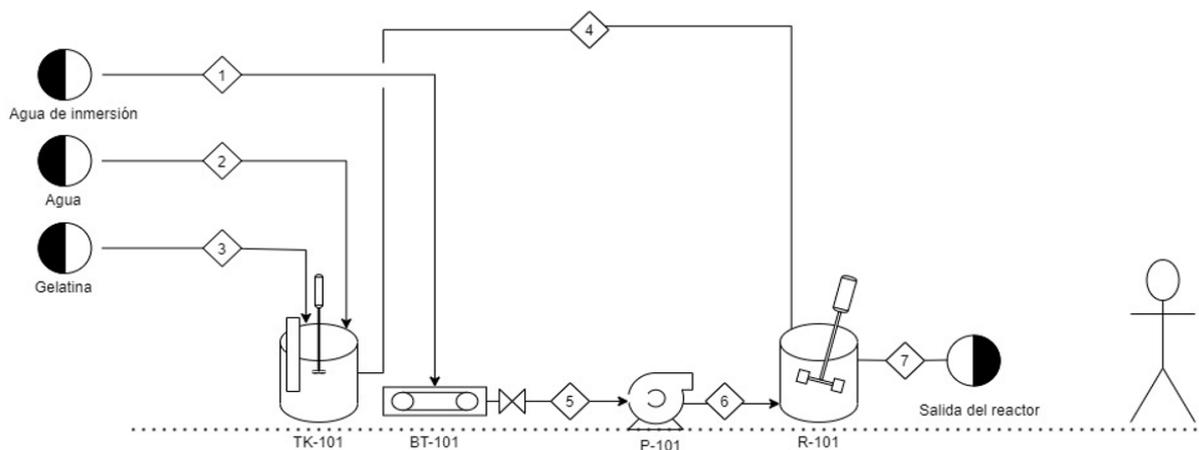
### 3.4. Implementación del reactor a escala piloto

Se realizó el diagrama de flujo de procesos (PFD) del proceso a escala piloto presentado en la Figura 3.3, en el cual se aumenta una estructura en niveles con el objetivo de que el movimiento del fluido se genere por gravedad. Esto contribuye a la reducción del uso de bombas y al gasto requerido para la implementación del sistema.



**Figura 3.3 PFD del proceso de recuperación de ácidos orgánicos a escala piloto**

Cabe destacar, que la implementación a escala piloto se ejecutó solamente del sistema del reactor visualizado en el Figura 3.4, al tener un costo muy elevado la centrífuga, equipo denominado CT-101 en el PFD. Las otras etapas del proceso se realizaron a nivel experimental para poder obtener el agua de inmersión recuperada y efectuar el análisis.



**Figura 3.4 PFD del sistema del reactor del proceso de recuperación de ácidos orgánicos.**

Las especificaciones para el sistema del reactor se presentan en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Especificaciones para el sistema del reactor**

Descripción	Valor o especificación
Volumen del tanque TK-101 (L)	29
Volumen del reactor R-101 (L)	200

Cantidad de gelatina (g)	130
Volumen de solución de gelatina (L)	26
Volumen de agua de inmersión (L)	130
Material del reactor R-101	Acero inoxidable

Los resultados que se obtuvieron de los parámetros del banano sumergidos en la mezcla de agua de inmersión recuperada – nueva (70 – 30 %), en la cual el agua de inmersión recuperada proviene del sistema del reactor a escala piloto, se visualizan a continuación:

**Tabla 3.7 Parámetros del banano por medio del sistema a escala piloto**

Parámetro	Valor
Grados Brix	20.36
pH	4.20
L	64.25
Acidez	0.673

De esa manera, se determinó que los parámetros de °Brix, pH y acidez se encuentran dentro del rango considerado aceptable para la empresa. Sin embargo, existe una pequeña diferencia en el valor de color (L) que lo ubicó fuera del rango.

### 3.5. Análisis económico

Se obtuvieron los indicadores económicos VAN, TIR y el periodo de recuperación. Para ello se tuvieron en consideración los gastos por activos fijos, insumos y personal necesario. Los gastos por activos fijos fueron los siguientes:

**Tabla 3.8 Gastos por activos fijos**

Descripción	Costo (\$)
3 Tanques de acero inoxidable 220 litros	3 000
Tanque de PVC 50 litros	10
Válvula de globo	59
2 Bomba	378
Agitador eléctrico industrial	504
Tuberías y caudalímetro	40

Malla filtrante	119
Estructura metálica	200
Reserva	2868
Centrífuga	15 000
<b>TOTAL</b>	<b>22 178</b>

Para los costos variables se tomó en consideración el ahorro por materias primas, el gasto por reactivo gelatina y el sueldo de un operario que este al pendiente del proceso. Además, se consideró que se realizan 8 turnos al día, de los cuales al poder reutilizar el agua de inmersión 3 veces, se necesitaría preparar agua de inmersión nueva al 100% solo en 2 turnos. En los demás, se ocuparía la mezcla 70-30 % agua de inmersión recuperada-nueva respectivamente.

**Tabla 3.9 Costos variables**

<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>
Ahorro de ácido ascórbico	- 22 690
Ahorro de ácido cítrico	-2 227
Ahorro agua	-202
Gelatina	2 825
Operario	11 580
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>- 10 714</b>

Por último, se tomó en cuenta el gasto en electricidad como costo fijo el cual fue de \$437.67 anuales aproximadamente; considerando el uso del agitador eléctrico, centrífuga y dos bombas.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, se obtuvieron los siguientes indicadores económicos en un periodo de 9 años los cuales denotan la rentabilidad del proyecto:

**Tabla 3.10 Indicadores económicos**

<b>Indicador económico</b>	<b>Resultado</b>
VAN	\$ 23 591
TIR	27.06 %
Periodo de recuperación	2.8 años
Ahorro anual	\$10 276

# CAPÍTULO 4

## 1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se determinaron las condiciones más eficientes de operación para el proceso de recuperación de ácidos orgánicos, por medio de la comparación de °Brix y pH del agua de inmersión contaminada con la recuperada. Estas son: el tiempo de mezclado de 5 minutos, la relación volumen de agua de inmersión contaminada-solución de gelatina de 10:2 ml y la concentración de solución de gelatina de 0.5%.
- El proceso realizado a las condiciones antes mencionadas genera un 83.3% de recuperación de ácido cítrico, un 81.3% de recuperación de ácido ascórbico y un 15.2% de remoción de polifenoles totales, lo cual valida el funcionamiento del proceso.
- Se identificó que la mejor composición de mezcla de agua de inmersión recuperada-agua de inmersión nueva fue de 70-30% respectivamente, al verificar el cumplimiento de los parámetros de control de calidad del banano después de ser sumergidos en la mezcla.
- La cantidad de reutilizaciones del agua de inmersión recuperada que se pudieron evaluar fueron 3. En estas se observó que todos los parámetros de control de calidad del banano se cumplieron. Cabe destacar, los grados °Brix disminuyeron hasta llegar al límite al realizar la tercera reutilización.
- El análisis estadístico realizado mediante el software Minitab utilizando la prueba ANOVA de un factor, demostró que no existe diferencia estadística significativa entre las medias de las muestras experimentales realizadas durante 5 días.

- Se implementó el reactor a escala piloto en planta utilizando las condiciones de operación obtenidas experimentalmente, demostrando su funcionalidad. Además, se analizaron los parámetros de control de calidad del banano con el agua de inmersión recuperada obtenida mediante un ensayo utilizando el reactor. En esa prueba se evidenció que todos los parámetros cumplían con los rangos de especificación de la empresa.
- Los indicadores económicos del proyecto demostraron la rentabilidad de este. Se obtuvo un VAN de \$23 591, TIR de 27.06% y un periodo de recuperación de 2.8 años.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un mayor número de pruebas del proceso utilizando el reactor a escala piloto, para analizar si las condiciones de operación experimentales obtenidas a nivel laboratorio son las más adecuadas para el escalamiento del proceso. Esto con el objetivo de que se mantengan los parámetros de control de calidad del banano dentro de los rangos de especificación.
- A través de la implementación del reactor, se lograron identificar mejoras para el proceso a escala piloto. Estas son: regular el flujo de entrada al reactor de agua de inmersión contaminada para evitar la formación de espuma, añadir lentamente la gelatina sólida al agua con una mezcla continua para prevenir la aparición de grumos, colocar un caudalímetro en el reactor para que haya más exactitud en la cantidad de gelatina necesaria para la reacción según el volumen de agua de inmersión contaminada.
- Modificar la forma de las astas del agitador utilizadas en el reactor a escala piloto, en beneficio de una mejor homogenización de la mezcla agua de inmersión contaminada-solución de gelatina, debido a la gran medida del diámetro del reactor. Además, esta modificación podría contribuir a una menor cantidad de formación de espuma.

- Se recomienda obtener los equipos necesarios de las etapas de centrifugación y filtración para realizar el proceso completo de recuperación de ácidos orgánicos a escala piloto, y de ese modo obtener una visión más real del proyecto. Esto es necesario debido a que, si solamente se realiza una parte del proceso a escala piloto y lo demás experimentalmente tomando muestras, existe un nivel de incertidumbre que puede afectar la veracidad de los resultados en cuanto al escalamiento.
- Debido a que el producto final es para consumo humano, se podrían realizar una serie de pruebas microbiológicas tanto del agua de inmersión recuperada como de los bananos sumergidos en esta, con el fin de que se valide que el proceso de recuperación de ácidos orgánicos no promueve la formación de microorganismos, que atenten contra la inocuidad del producto.
- Se recomienda aplicar algún método analítico o adquirir algún equipo que permita obtener la composición del agua de inmersión, para una caracterización más completa y confiable. De esta manera, se podría validar el experimento desde el punto de vista estadístico con la composición de los ácidos obtenida en el agua de inmersión recuperada. Cabe notar, que actualmente este análisis se realiza de manera externa lo cual implica un gasto elevado que limita al proyecto.

# BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (2015). *La producción y exportación del banano y su incidencia en la economía ecuatoriana en el periodo 2008-2013*. Guayaquil.
- Anaya, A., & Pedroza, H. (2008). *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantaspiloto, el paso entre el huevo y la gallina*. México.
- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s05.htm>
- Bocharova, O., & Bocharova, M. (2017). *The dual role of phenolic compounds in oxidative changes in fruit products*.
- Bolívar, D., & Díaz, K. (2015). *Análisis de la Implementación del Impuesto Presuntivo del 2% al Sector Productor Bananero en el Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Endara, V. (2020). *Industrias que trabajan por una economía circular*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/industrias-economia-circular-ecuador>
- Esquerre, Y. (2017). *Colorimetría capilar*. Lima.
- Fernández, K. (2007). *Caracterización de Taninos*. Concepción.
- Gil, M., Rojano, B., & Guerrero, C. (2012). *Inhibición de la polifenoloxidasas extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol*. Medellín.
- Hagerman, A., & L, G. (1978). *Protein precipitation method for the quantitative termination of tannins*. Obtenido de

- <https://doi.org/10.1021/jf60218a027>Ioannou, I., & Ghoul, M. (2013). *Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables*.
- Hervas, P. (2011). *Estudio de la influencia de los grados brix del chaguar mishque para la obtención de una bebida carbonatada tipo champagne*. Ambato.
- Khanbabaee, K., & Van Ree, T. (2001). *Tannins: Classification*.  
<https://doi.org/10.1039/B101061L>
- Khanittha, M., La-ong, S., Tanyaporn, W., & Wilasinee, K. (2017). *Tannin Extraction from Mangosteen Peel for Protein Precipitation in Wine*.  
Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Tannin-extraction-from-mangosteen-peel-for-protein-Moosophin/7442365ca437c67e0b8aa498257b37c05f6c7aa3>
- Maryati, T., Pertiwinngum, A., Bachrundin, Z., & Yuliatmo, R. (2020). *The exploration of banana bunch as new vegetable tanning agent*. Obtenido de Materials Science and Engineering: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012019>
- Messier, R. (2014). *Apple juice; clarification by the gelatin-tannin method*. Obtenido de University of Massachusetts: <https://scholarworks.umass.edu/theses/2784>
- Mi Moon, K., Kwon, E.-B., Lee, B., & Young Kim, C. (2020). *Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>
- Naciones Unidas . (2015). *Objetivos del desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Nacz, M., Oickle, D., Pink, D., & Shahidi, F. (1996). *Protein precipitating capacity of crude canola tannins: Effect of pH, tannin and protein concentrations*.  
<https://doi.org/10.1021/jf960165k>
- Parra, L., & Valarezo, M. (2021). *Diseño a escala laboratorio de un sistema de*

*recuperación de ácidos orgánicos empleados en el proceso de congelamiento de banano. Guayaquil.*

Prommajak, T, Leksawasdi, N., & Rattanapanon, N. (2018). *Optimizing Tannin Precipitation in Cashew Apple Juice*. Obtenido de <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2018.0002>

Prommajak, T., Leksawasdi, N., & Rattanapanone, N. (2019). *Tannins in fruit juices and their removal*. Obtenido de <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2020.0006>

Talasila, U., Rao, R., & Shaik, K. (2012). *Clarification, preservation and shelf-life evaluation of cashew apple juice*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0092-3>

Thornton, A. (2019). *Estas 11 empresas están liderando el camino de la economía circular*. Obtenido de World Economic Forum: <https://es.weforum.org/agenda/2019/03/estas-11-empresas-estan-liderando-el-camino-de-la-economia-circular/>

Yi, K., Cheng, G., & Xing. (2015). *Gelatin/Tannin Complex Nanospheres via Molecular Assembly*. Tianji

## APÉNDICE

**Tabla A. Equipos del PDF del proceso de recuperación de ácidos orgánicos**

Nomenclatura	Equipo
TK-101	Tanque de almacenamiento de solución de gelatina
TK-102	Tanque de almacenamiento del agua de inmersión contaminada
P-101	Bomba que moviliza el agua de inmersión contaminada al reactor
R-101	Reactor para la precipitación tanino-gelatina
CT-101	Centrífuga para separar los sólidos de los líquidos
F-101	Tanque con malla filtrante para retener los sólidos
M-101	Tanque para mezclar el agua de inmersión recuperada con la nueva
BT-101	Barra transportadora de bananos que contiene el agua de inmersión contaminada

**Tabla B. Equipos para los análisis físico-químicos**

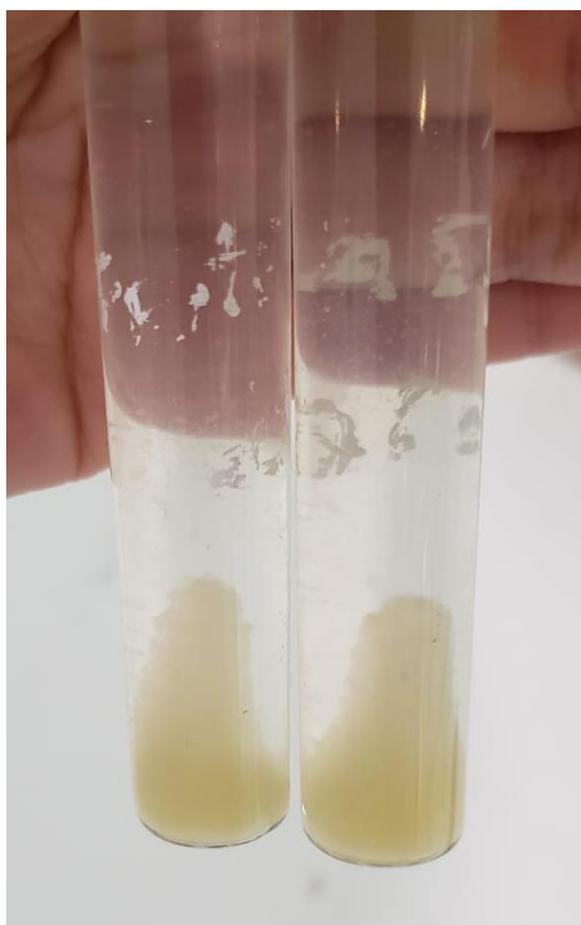
Parámetro	Equipo	Marca
Grados Brix	Refractómetro	ATAGO
Acidez	Titulador	Mettler Toledo
Color (L)	Colorímetro	HunterLab
pH	pH metro	OAKTON

**Tabla C. Análisis del Laboratorio externo**

Parámetro	Método
Polifenoles totales	Folin-Ciocalteu (Espectrofotometría)
Ácido Ascórbico	Montoya & Molina 1955 (HPLC) (Cromatografía)
Ácido Cítrico	AOAC 976.15 (Cromatografía)

**Tabla D. Resultados del análisis en el laboratorio externo**

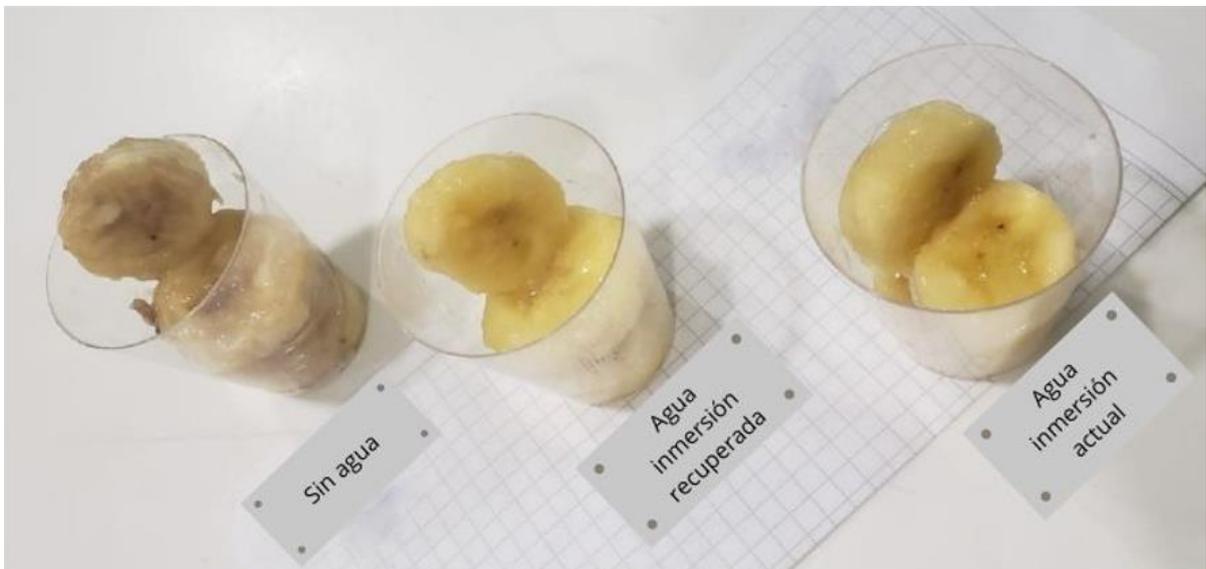
<b>Muestra</b>	<b>Descripción</b>	<b>A. Cítrico (%)</b>	<b>A. Ascórbico (%)</b>	<b>Polifenoles Totales (%)</b>
<b>1</b>	Contaminada	1.45	2.96	1.76
	Recuperada	1.20	2.38	1.50
<b>2</b>	Contaminada	0.41	2.50	1.27
	Recuperada	0.35	2.06	1.07



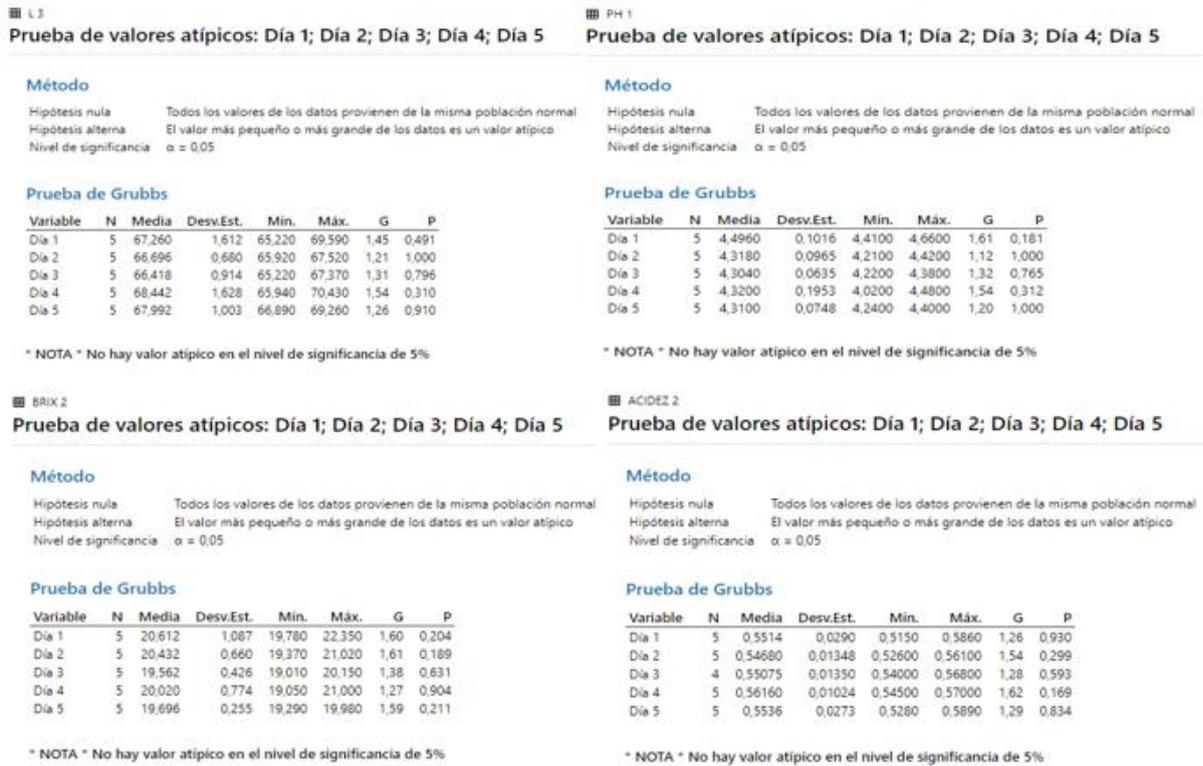
**Figura A. Precipitado luego de la etapa de centrifugación**



**Figura B. Implementación del reactor a escala piloto**



**Figura C. Efecto de la aplicación de agua de inmersión en el proceso de anti oxidación del banano**



**Figura D. Prueba de valores atípicos de los parámetros de calidad del banano (Grubbs)**



**Figura E. Prueba de igualdad de varianzas de los parámetros de calidad del banano (Bartlett)**

Tabla E. Flujo de caja del proyecto

	Flujos del Proyecto					
	2021	2021	2022	2023	2024	2025
	<i>USD</i>					
<b>Activo</b>	\$ 22.178	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Capital de Trabajo</b>		\$ -3.431	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Ventas</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costos Variables</b>		\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714
<b>Margen</b>		\$ 10.714	\$ 10.714	\$ 10.714	\$ 10.714	\$ 10.714
		-	-	-	-	-
<b>Costos Fijos</b>		\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437
<b>Gastos de Adm. y Ventas</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Depreciación, Amortización Adm y Vtas</b>		\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218
<b>Total Depreciación, Amortización</b>						
<b>Utilidad Operativa (EBIT)</b>		\$ 8.059	\$ 8.059	\$ 8.059	\$ 8.059	\$ 8.059
<b>Participación Trabajadores</b>		\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209
<b>Impuesto a la Renta</b>		\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517
<b>EBIT ajustado</b>		\$ 5.334	\$ 5.334	\$ 5.334	\$ 5.334	\$ 5.334
<b>EBITDA</b>		\$ 10.277	\$ 10.277	\$ 10.277	\$ 10.277	\$ 10.277
<b>Capital Invertido</b>						
<b>Caja</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Inventario</b>	\$ -	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805
<b>Cuentas por cobrar</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Otras cuentas por cobrar</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Otros activos corrientes</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Cuentas por pagar</b>	\$ -	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626
<b>Activos Fijos</b>	\$ 22.178	\$ 19.960	\$ 17.742	\$ 15.525	\$ 13.307	\$ 11.089
<b>Total Capital Invertido</b>	\$ 22.178	\$ 16.529	\$ 14.311	\$ 12.094	\$ 9.876	\$ 7.658
<b>Flujos</b>						
<b>Efectivo Generado</b>	\$ -	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551
<b>Flujo Neto de Efectivo</b>	\$ -22.178	\$ 10.982	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551
<b>Flujo Neto Descontado</b>	\$ -22.178	\$ 10.982	\$ 6.510	\$ 5.612	\$ 4.838	\$ 4.171
<b>Flujo Acum. Descontado</b>	\$ -22.178	\$ -11.196	\$ -4.686	\$ 0.926	\$ 5.764	\$ 9.935

	<b>Flujos del Proyecto</b>				
	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>
<b>Activo</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Capital de Trabajo</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Ventas</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costos Variables</b>	\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714	\$ -10.714
<b>Margen</b>	<b>\$ 10.714</b>	<b>\$ 10.714</b>	<b>\$ 10.714</b>	<b>\$ 10.714</b>	<b>\$ 10.714</b>
<b>Costos Fijos</b>	\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437	\$ 0.437
<b>Gastos de Adm. y Ventas</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Depreciación, Amortización Adm y Vtas</b>	\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218	\$ 2.218
<b>Total Depreciación, Amortización</b>					
<b>Utilidad Operativa (EBIT)</b>	<b>\$ 8.059</b>	<b>\$ 8.059</b>	<b>\$ 8.059</b>	<b>\$ 8.059</b>	<b>\$ 8.059</b>
<b>Participación Trabajadores</b>	\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209	\$ 1.209
<b>Impuesto a la Renta</b>	\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517	\$ 1.517
<b>EBIT ajustado</b>	<b>\$ 5.334</b>	<b>\$ 5.334</b>	<b>\$ 5.334</b>	<b>\$ 5.334</b>	<b>\$ 5.334</b>
<b>EBITDA</b>	<b>\$ 10.277</b>	<b>\$ 10.277</b>	<b>\$ 10.277</b>	<b>\$ 10.277</b>	<b>\$ 10.277</b>
<b>Capital Invertido</b>					
<b>Caja</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Inventario</b>	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805	\$ -2.805
<b>Cuentas por cobrar</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Otras cuentas por cobrar</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Otros activos corrientes</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Cuentas por pagar</b>	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626	\$ -0.626
<b>Activos Fijos</b>	\$ 8.871	\$ 6.653	\$ 4.436	\$ 2.218	\$ -0.000
<b>Total Capital Invertido</b>	<b>\$ 5.440</b>	<b>\$ 3.222</b>	<b>\$ 1.005</b>	<b>\$ -1.213</b>	<b>\$ -3.431</b>
<b>Flujos</b>					
<b>Efectivo Generado</b>	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551
<b>Flujo Neto de Efectivo</b>	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551	\$ 7.551
<b>Flujo Neto Descontado</b>	\$ 3.595	\$ 3.099	\$ 2.672	\$ 2.303	\$ 1.986
<b>Flujo Acum. Descontado</b>	<b>\$ 13.530</b>	<b>\$ 16.630</b>	<b>\$ 19.301</b>	<b>\$ 21.605</b>	<b>\$ 23.591</b>

**Tabla F. Costos generados por el agua de inmersión por el proceso actual**

<b>Proceso actual</b>					
	Unidades			Costo	\$/año
	kg/3 horas	kg/día	kg/año		
<b>Masa ácido ascórbico</b>	3.026912	24.2153	8838.584		43220.68
<b>Masa de ácido cítrico</b>	1.513456	12.10765	4419.292		4242.52
<b>Masa agua</b>	197.2538	1578.03	575981.1		385.9073
				<b>SUMA</b>	<b>47849.1</b>

**Tabla G. Costos generados por el agua de inmersión por el proceso con recuperación de ácidos**

<b>Proceso con recuperación</b>					
	Unidades			Costo	\$/año
	kg/3 horas	kg/día	kg/año		
<b>Masa ácido ascórbico</b>	3.026912	11.50227	4198.327		20529.82
<b>Masa de ácido cítrico</b>	1.513456	5.751133	2099.164		2015.20
<b>Masa agua</b>	197.2538	749.5644	273591		183.3059
				<b>SUMA</b>	<b>22728.3</b>

**Tabla H. Costos generados por la electricidad**

<b>Energía</b>					
<b>Precio Electricidad</b>					
<b>0.065</b>	<b>\$/kWH</b>				
	Potencia		Cantidad	Horas de uso/día	kWH/año
<b>Agitador</b>	0.7457 kW		1	0.5	136.0903
<b>Bomba</b>	0.37285 kW		2	0.1	27.21805
<b>Centrífuga</b>	18 kW		1	1	6570
				<b>TOTAL</b>	<b>6733.308 kWH/año</b>
				<b>Costo TOTAL</b>	<b>437.665 \$/año</b>

**Tabla I. Costos por uso de la gelatina**

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen agua inmersión	200	L
Volumen solución de gelatina	40	L
Concentración gelatina	0.5	%
Masa gelatina	0.2	kg
Veces	6	
Costo gelatina	6.45	\$/kg
Masa gelatina por año	438	kg/año
Costo gelatina	2825.1	\$/año