

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**REMOCIÓN DE HIERRO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL  
CENTRO POBLADO EL TRIUNFO MADRE DE DIOS, USANDO  
CÁSCARA DE PLÁTANO**

**PRESENTADO POR:**

Br. PAOLO RICARDO CALCINE AYALA

Br. JOSUE CATALAN OVALLE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUÍMICO**

**ASESORA:**

Dra. CARLA SUSAN SÁNCHEZ CHÁVEZ

**CUSCO - PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: " **REMOCIÓN DE HIERRO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL CENTRO POBLADO EL TRIUNFO MADRE DE DIOS, USANDO CÁSCARA DE PLÁTANO**"

Presentado por: PAOLO RICARDO CALCINE AYALA Y JOSUE CATALÁN OVALLE DNI N° 71822107 presentado por: JOSUE CATALÁN OVALLE DNI N°: 71816982, Para optar el título de Ingeniero Químico. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3%.

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 19 de mayo de 2025

  
Firma

Post firma..... *Carla Susan Sánchez Chávez*

Nro. de DNI 23858242

ORCID del Asesor 0000-0002-1068-531X

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:460575251?locale=es-MX>

# PAOLO RICARDO y JOSUE . RICARDO CALCINE AY... REMOCIÓN DE HIERRO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL CENTRO POBLADO EL TRIUNFO MADRE DE DIOS, USANDO C...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:460575251

95 Páginas

Fecha de entrega

19 may 2025, 9:41 a.m. GMT-5

16.764 Palabras

Fecha de descarga

19 may 2025, 10:56 a.m. GMT-5

92.261 Caracteres

Nombre de archivo

REMOCIÓN DE HIERRO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL CENTRO POBLADO EL TRIUNFO MADR....pdf

Tamaño de archivo

3.0 MB

## 3% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çıkarılan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

### Rapordan Filtrelenen

- ▶ Bibliyografya
- ▶ Alıntılanan Metin
- ▶ Atıf Yapılan Metin
- ▶ Küçük Eşleşmeler (30 sözcükten az)
- ▶ Çapraz referanslı iletilmiş içerik veri tabanı

### Ön Sıradaki Kaynaklar

- 3%  İnternet kaynakları
- 0%  Yayınlar
- 1%  Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

### Bütünlük Bayrakları

#### İnceleme için 0 Bütünlük Bayrağı

Herhangi bir şüpheli metin manipülasyonu belirlenmedi.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırabilecek her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.

## **Dedicatoria**

### **DEDICATORIA (Josue)**

Este trabajo de investigación le dedico a las personas más importante que tengo, a mis padres ELISEO CATALÁN CÁMARA y ALBERTINA OVALLE CHOCCATA, por su apoyo, consejos e inculcarme valores y estar presentes en cada una de mis etapas de mi vida para lograr mis objetivos.

### **DEDICATORIA (Paolo Ricardo)**

A las personas más importantes que tengo, les dedico este trabajo de investigación. A mis RICARDO CALCINE CORRIDO y MERCEDES AYALA APAZA por su apoyo y sus consejos constantes en cada etapa de mi vida, que me motivaron a seguir adelante, hasta alcanzar mis metas.

## **Agradecimiento**

### **AGRADECIMIENTO (Josue)**

A Dios por haberme dado la oportunidad en la culminación de este trabajo, y por bendecirme con la capacidad que he obtenido al realizar esta investigación. A mis familiares por el apoyo, la comprensión, la confianza para lograr el trabajo, el cual me permitió llegar a la meta.

A mi asesor de tesis DRA. CARLA SUSAN SÁNCHEZ CHÁVEZ, por su gran aporte y su valiosa orientación dada durante el proceso de mi tesis.

### **AGRADECIMIENTO (Paolo Ricardo)**

A Dios por darme la vida y salud para culminar este trabajo, y a la vez por bendecirme con la capacidad que he obtenido al realizar la investigación. A mis familiares por el apoyo, la comprensión, la confianza que depositaron en mí, para lograr el objetivo de este trabajo de investigación que he logrado con gran éxito.

A mi asesor de tesis DRA. CARLA SUSAN SÁNCHEZ CHÁVEZ, por su gran aporte y su valiosa orientación en el transcurso de este trabajo de investigación.

## Índice

<b>Dedicatoria .....</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>ii</b>
<b>Índice .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Anexos .....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Apéndice .....</b>	<b>xi</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>16</b>
<b>1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>16</b>
<i>1.1. Formulación del Problema.....</i>	<i>16</i>
1.1.1. Problema General .....	17
1.1.2. Problemas Específicos .....	17
1.2. <i>Objetivos.....</i>	<i>17</i>
1.2.1. Objetivo General.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos .....	17
1.3. <i>Hipótesis .....</i>	<i>18</i>
1.4. <i>Justificación .....</i>	<i>18</i>
<b>Capítulo II .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>19</b>
2.1. <i>Antecedentes.....</i>	<i>19</i>
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	19

2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	20
2.2. Bases Teóricas .....	23
2.2.1. Coagulante Natural .....	23
2.2.2. Coagulación .....	23
2.2.3. Floculación .....	25
2.2.4. Sedimentación .....	26
2.2.5. Cáscara de Plátano .....	26
2.2.5.1. Composición de la Cáscara de Plátano. ....	27
2.2.5.2. Celulosa.....	27
2.2.5.3. Hemicelulosa.....	28
2.2.5.4. Pectina. ....	28
2.2.5.5. Lignina.....	28
2.2.6. Remoción .....	28
2.2.6.1. Filtración por Membrana. ....	28
2.2.6.2. Intercambio Iónico.....	29
2.2.6.3. Adsorción. ....	29
2.2.6.4. Precipitación Química. ....	29
2.2.6.5. Electrocoagulación.....	29
2.2.6.6. Coagulación – Floculación.....	29
2.2.6.7. Electrofloculación. ....	30
2.2.7. Hierro .....	30
2.3. Bases Teóricas .....	30
2.3.1. Calidad de las Aguas Subterráneas.....	30
Solubilidad del Hierro .....	32
2.3.3. Remoción de Hierro.....	32
2.3.4. Técnicas de Remoción de Hierro .....	32
2.3.5. Proceso de Remoción de Hierro .....	33
2.3.6. Estequiometría de la Reacción de Hierro .....	34

2.3.7. Cal Hidratada .....	34
2.3.8. Obtención de la Harina Cáscara de Plátano .....	35
2.3.9. Metales .....	36
2.3.10. Tratamiento de Agua .....	36
2.3.11. Caracterización del Pozo 2 de la PTAP El Triunfo y Normativa .....	37
<b>Capítulo III.....</b>	<b>39</b>
<b>3. Metodología de Investigación .....</b>	<b>39</b>
3.1. Enfoque de Investigación.....	39
3.2. Tipo de Investigación .....	39
3.3. Diseño de Investigación .....	39
3.4. Reactivos, Materiales, Equipos e Instrumentos.....	41
3.4.1. Reactivos.....	41
3.4.2. Materiales.....	41
3.4.3. Equipos .....	42
3.4.4. Instrumentos .....	42
3.5. Métodos.....	42
3.5.1. Muestra .....	43
3.5.2. Caracterización del Agua .....	43
3.5.3. Obtención del Coagulante .....	43
3.5.4. Proceso de Coagulación.....	44
3.5.4.1. Ajuste del pH.....	44
3.5.4.2. Preparación del Hipoclorito de Calcio.....	45
3.5.4.3. Programación del Equipo de Prueba de Jarras. ....	47
3.5.4.4. Prueba de Jarras.....	47
3.5.4.5. Porcentaje de Remoción.....	49
3.5.4.6. Técnicas de Recolección de Datos. ....	49
3.5.4.6.1. Técnicas.....	49

3.5.4.6.2. F Calculado .....	50
3.5.4.6.3. P Valor .....	51
3.5.4.6.4. Comparación de Medias por el Método de Tukey.....	51
3.5.4.7. Variables .....	51
- Variable dependiente:.....	51
- Variable Independiente 1:.....	51
- Variable Independiente 2:.....	52
3.5.4.8. Operación de variables .....	52
3.5.5. Parámetros del Proceso.....	52
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>53</b>
<b>4. Resultados y Discusiones.....</b>	<b>53</b>
4.1. Caracterización del agua del pozo 2.....	53
4.2. Obtención de la Harina de la Cáscara de Plátano .....	54
4.3. Proceso de Coagulación y Floculación .....	54
4.4. Análisis Estadístico .....	57
4.4.1. Análisis de Varianza .....	57
4.4.3. Análisis de la Hipótesis .....	62
4.5. Método de Tukey.....	62
4.5.1. Comparación de Tukey: Concentración Coagulante (mg/L) y pH .....	62
4.5.2. Comparación de Tukey: Concentración coagulante .....	64
4.5.3. Comparación de Tukey: pH.....	65
4.5.4. Efectos Principales .....	66
4.6. Resultados de los Parámetros del Proceso .....	66
<b>Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>68</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>69</b>

<b>Anexos.....</b>	<b>77</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>84</b>

**Lista de Tablas**

Tabla 1 Características Químicas de la Cáscara de banano .....	27
Tabla 2 Contaminantes, Origen y Efectos .....	31
Tabla 3 Análisis Fisicoquímico del Agua de la PTAP de El Triunfo del Pozo 2 del 12/10/2022 .....	37
Tabla 4 Análisis Fisicoquímico del Agua de la PTAP de El Triunfo del Pozo 2 del 09/09/2024 .....	37
Tabla 5 Representación del Diseño de la Investigación .....	40
Tabla 6 Diseño de la Caracterización del Agua del Pozo 2.....	43
Tabla 7 Tabla de ANOVA para dos factores.....	50
Tabla 8 Operación de Variables .....	52
Tabla 9 Análisis Fisicoquímico del Agua Cruda del Pozo 2.....	53
Tabla 10 Resumen de los Resultados del Anexo 1.....	55
Tabla 11 Información del Factor .....	57
Tabla 12 Análisis de Varianza.....	58
Tabla 13 Resumen del Modelo.....	59
Tabla 14 Ajustes y Diagnóstico para Observaciones poco Comunes .....	59
Tabla 15 Medias de los Efectos y su Interacción .....	60
Tabla 16 Tukey: Concentración Coagulante y pH .....	63
Tabla 17 Tukey: Coagulante.....	64
Tabla 18 Tukey: pH.....	65
Tabla 19 Resultado del Proceso.....	77
Tabla 20 Monitoreo de los Pozos de la PTAP El Triunfo .....	84

## Lista de Figuras

Figura 1 Etapas de Remoción.....	33
Figura 2 LMP del Hierro Establecido por DIGESA Y las Muestras del Pozo 2.....	38
Figura 3 Oxidación de Hierro y Manganeseo .....	41
Figura 4 Diagrama de Bloques para la obtención de la Harina .....	44
Figura 5 Diagrama de Bloques de los Procesos .....	49
Figura 6 Remoción de Hierro .....	56
Figura 7 % Remoción de Hierro.....	57
Figura 8 Probabilidad Normalidad de los Datos en MINITAB 2019.....	60
Figura 9 Residuo vs Valor Ajustado en MINITAB 2019.....	61
Figura 10 Histograma .....	62
Figura 11 Interacción del Coagulante y pH con MINITAB 2019.....	63
Figura 12 Intervalo de las Media con Respecto al Coagulante .....	64
Figura 13 Intervalo de las Medias con Respecto al pH .....	65
Figura 14 Media de Fe con los Efectos .....	66
Figura 15 Preparación de la Cáscara de Plátano.....	78
Figura 16 Fotografía del Laboratorio de la PTAP El Triunfo .....	79
Figura 17 Lavado y Molienda de la Cáscara de Plátano .....	79
Figura 18 Análisis Fisicoquímico de las Muestras de Agua Cruda.....	80
Figura 19 Toma de Muestras de los Pozos de la PTAP El Triunfo.....	80
Figura 20 Prueba de Jarras.....	81
Figura 21 Preparación del Hipoclorito de Calcio en Solución .....	81
Figura 22 Finalización de la Prueba de Jarras .....	82
Figura 23 Formación de Floccs .....	82
Figura 24 Análisis de los Resultado del Proceso.....	83

## **Lista de Anexos**

Anexo A Análisis Físicoquímico del Resultado del Proceso .....	77
Anexo B Panel Fotográfico .....	78

## Lista de Apéndice

Apéndice A Caracterización del Agua de la PTAP El Triunfo .....	84
Apéndice B Ubicación de los Pozos de la PTAP El Triunfo.....	85
Apéndice C Análisis del Pozo 1 - 2022.....	86
Apéndice D Análisis del Pozo 2 - 2022.....	87
Apéndice E Análisis del Pozo 3 - 2022 .....	88
Apéndice F Análisis del Pozo 4 - 2022 .....	89
Apéndice G Análisis del pozo 2 - 2024.....	90
Apéndice H Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano .....	91
Apéndice I Hoja de Seguridad Cal Hidratada .....	92
Apéndice J Hoja de Seguridad del Hipoclorito de Calcio 65%.....	93

## Resumen

Madre de Dios es una de las regiones con más del 99% de operaciones mineras informales que contaminan sus ríos como es la cuenca de Tambopata. El centro poblado de El Triunfo, distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata en Madre de Dios, trata y consume mediante la Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata Sociedad Anónima (EPS EMAPAT S.A.) las aguas de pozos tubulares que contiene alta concentración de hierro, superando los Límites Máximo Permisibles (LMP) del DS N°031-2010-SA, establecidos por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

La metodología utilizada tiene un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada con diseño experimental. Se tomó la muestra del pozo 2 de la planta de tratamiento (PTAP) del centro poblado de El Triunfo que contiene una concentración de 13.47 mg/L de hierro que supera LMP establecidos por el MINSA; se utilizó el equipo de prueba de jarras para la remoción de hierro, siendo la homogenización de 40 rpm por 90 segundos, mezcla rápida de 300 rpm por 5 segundos, floculación de 40 rpm por 20 minutos; utilizando como coagulante la cáscara de plátano en concentraciones de 25, 50, 75, 100, 125 y 150 mg/L y a diferentes pH de 6.3, 6.7 y 7.4, como oxidante hipoclorito de calcio al 65%. Según los resultados obtenidos la mejor remoción de hierro se da a menores concentraciones del coagulante y a mayor pH, es decir a una concentración de 25 mg/L de coagulante y aumentado el pH a 7.4, se obtuvo una media de concentración final de hierro de 0.46 mg/L; concluyendo que, la cáscara de plátano tiene un alto porcentaje de remoción de hierro del 96.59%.

**Palabras clave:** coagulante, remoción, aguas subterráneas.

## Abstract

Madre de Dios is one of the regions with more than 99% of informal mining operations that contaminate its rivers such as the Tambopata basin. The town center of El Triunfo, district of Las Piedras, province of Tambopata in Madre de Dios, treats and consumes through the Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata Sociedad Anónima (EPS EMAPAT S.A) the water from tubular wells that contains a high concentration of iron, exceeding the Maximum Permissible Limits (LMP) of DS N°031-2010-SA, established by Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

The methodology used has a quantitative approach, application type with experimental design. The sample was taken from well 2 of drinking water treatment plant (PTAP) of the town center of El Triunfo (the PTAP has 6 tubular wells) which contains a concentration of 13.47 mg/L of iron that exceeds the LMP established by the MINSA; The jar testing equipment was used for the removal of iron, the homogenization being 40 rpm for 90 seconds , rapid mixing at 300 rpm for 5 seconds, flocculation at 40 rpm for 20 minutes; using banana peel as a coagulant in concentrations of 25, 50, 75, 100, 125 and 150 mg/L and at different pH of 6.3, 6.7 and 7.4, as an oxidant 65% calcium hypochlorite. According to the results obtained, the best iron removal occurs at lower concentrations of the coagulant and at a higher pH, that is, at a concentration of 25 mg/L of coagulant and Increasing the pH to 7.4 resulted in an average final iron concentration of 0.46 mg/L; concluding that banana peel has a high iron removal percentage of 96.59%.

**Keywords:** coagulant, removal, groundwater.

## Introducción

La contaminación del agua en el planeta es de origen antrópico y natural; siendo, de gran importancia la remoción de contaminantes, como los metales pesados, que son dañinos para la salud humana en altas concentraciones, por lo que el ser humano busca agua de calidad apta para consumo humano, removiendo estos contaminantes a través de procesos físicos y químicos.

Para la remoción de hierro en el agua existen tecnologías convencionales como las resinas de intercambio iónico, osmosis inversa y precipitación química; cada tecnología implica un costo operacional y la dificultad de la obtención de estos, por lo que se realizan estudios en busca de materiales e insumos naturales que exista en la localidad y con la finalidad que el porcentaje de remoción de hierro sea igual o mayor a las tecnologías convencionales utilizadas en la actualidad.

Madre de Dios es uno de los lugares del Perú, donde la deforestación entre los años 2021 al 2023 fue de 23881 hectáreas por las operaciones mineras que se realizan dentro de su corredor minero y circundante (Finer, Mamani, & Ariñez, 2023), conjuntamente contaminando los ríos como es la cuenca de Tambopata con sustancias tóxicas como el mercurio y otros.

El trabajo de investigación se utilizó como coagulante natural la cáscara de plátano para la remoción de hierro, en muchas investigaciones relacionadas a la remoción de metales dieron resultados positivos por la alta eficiencia de remoción, al ser un compuesto orgánico los residuos no son perjudiciales para la salud humana; así como las sustancias inorgánicas tradicionales que son tóxicas según la cantidad de residuos que pueda haber luego de los tratamientos. Esta alternativa pretende realizar con las aguas subterráneas de la PTAP del Centro Poblado El Triunfo, Madre de Dios, que no cumplen los parámetros establecidos la DIGESA, como es el hierro, evaluando a

diferentes concentraciones del coagulante de la cáscara de plátano y pH adecuados para tratar el agua. A través del estudio realizado se permitirá conocer los mejores parámetros para la remoción del hierro, mejorando la calidad del agua.

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del Problema

#### 1.1. Formulación del Problema

En los últimos años la contaminación de los ríos y el cambio climático está acelerando la escasez del agua superficial en la tierra; por lo que, las aguas subterráneas están siendo más explotadas, debido al bajo costo de tratamiento para convertirlas en agua potable.

El hierro en aguas subterráneas es un problema crítico que afecta la calidad del agua potable en muchas regiones, especialmente en áreas donde el agua se extrae de pozos. La presencia de hierro en el agua no solo afecta su sabor y color, sino que también puede causar problemas de salud.

Este fenómeno se debe a la disolución de minerales ricos en hierro en el suelo y las rocas, que se liberan en las aguas subterráneas, generando concentraciones que superan los límites máximos permisibles (LMP), según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano (DS-031-2010-SA) del Perú.

En muchas comunidades, el acceso al agua potable es limitado, lo que lleva a los habitantes a depender de fuentes naturales como lagunas, ríos, pozos, etc.

Madre de Dios es una de las regiones con más del 99% de operaciones mineras informales, se calcula la destrucción de más de 32000 ha. de bosques y varios ríos contaminados como la cuenca de Tambopata de Madre de Dios con sustancias tóxicas como son el mercurio y otros contaminantes (Ministerio del Ambiente, 2011). El centro poblado El Triunfo, distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata en Madre de Dios consume agua de la PTAP El Triunfo, perteneciente a la Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata (E.P.S. EMAPAT S.A.), que es abastecido de 6 pozos tubulares de la zona, según el

informe de monitoreo de la calidad del agua para el consumo humano y calidad de efluente de la PTAP, el nivel de hierro en 4 de sus pozos tiene una concentración de 0,369 mg/L a 14,529 mg/L las cuales supera el límite máximo permisible (LMP) del hierro que es de 0.3 mg/L según la DIRESA (EPS EMAPAT S.A., 2021), apéndice A.

Este planteamiento del problema establece un marco claro para investigar una solución sostenible y económica para la remoción de hierro en aguas subterráneas, con cáscara de plátano, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua potable disponible para comunidades vulnerables.

### ***1.1.1. Problema General***

¿Cuál es el porcentaje de remoción de hierro de las aguas subterráneas del centro poblado El Triunfo Madre de Dios, usando la cáscara de plátano?

### ***1.1.2. Problemas Específicos***

- ¿Cuál es el efecto de la concentración del coagulante y pH del proceso sobre la remoción de hierro?
- ¿Cuáles son los parámetros de concentración de coagulante y pH que logra la mayor remoción de hierro?

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Evaluar el porcentaje de remoción de hierro de las aguas subterráneas del centro poblado El Triunfo Madre de Dios, usando cáscara de Plátano.

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

- Evaluar el efecto de la concentración del coagulante y pH del proceso sobre la remoción de hierro.
- Determinar los parámetros de concentración de coagulante y pH del proceso que logre la mayor remoción de hierro.

### **1.3. Hipótesis**

Existe influencia significativa de la concentración y PH del proceso de la remoción de hierro.

### **1.4. Justificación**

Los resultados de la investigación permitirán aplicar este método para reducir el hierro usando la cáscara de plátano en las aguas subterráneas del centro poblado El Triunfo, a nivel piloto y luego podrá escalar al proceso. También darle un valor agregado al residuo del plátano.

## Capítulo II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

De acuerdo a la investigación de Ortiz (2020) que lleva por título: “EVALUACIÓN DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*AAB SIMMONDS*) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS”, menciona que el uso de coagulantes es sinónimo de altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodos y la alteración del pH del agua tratada, siendo el caso del sulfato de aluminio, dando excelentes eficiencias de remoción de materiales orgánicos y microorganismos; además, el uso se asocia con efectos secundarios como la causa de enfermedades óseas, Alzheimer y cáncer, razón por la cual se buscan nuevas alternativas como los coagulantes naturales, la finalidad de la investigación fue corroborar la capacidad de coagulación de la cáscara de plátano (*Musa AAB Simmonds*), para lo cual se realizó pruebas de jarras en aguas con 200 mg/L de hierro, el porcentaje de remoción fue del 99.99 %, reduciendo a 0.01 mg/L de hierro con una concentración de coagulante natural de 90 mg/L.

En el trabajo de investigación de Carrasquero (2017) que lleva por título: “EFECTIVIDAD DE COAGULANTES OBTENIDOS DE RESIDUOS DE PAPA Y PLÁTANO EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS”, cuya finalidad fue de verificar cuan eficiente era la remoción de la turbidez y color, utilizando la cáscara de papa y residuos de plátano como coagulante, preparando soluciones sintéticas iniciales de turbidez de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT, utilizó la prueba de jarras para determinar la dosis óptima de los coagulantes naturales preparando 10, 25, 50, 100, 250, 500 mg/L del coagulante para cada valor inicial de turbidez. Obteniendo como resultado las mejores

eficiencias de remoción de la turbidez de la cáscara de la papa y residuos de plátano de 99.6% y 99.5% en el agua de 200 UNT con dosis de 50 y 25 mg/L, respectivamente.

En la investigación de Sierra & Navarro (2019) titulado: “REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA USANDO MÉDULA DE BANANO COMO COAGULANTE”, analizó la eficiencia de coagulación de la médula de plátano en la clarificación de aguas naturales; además, del análisis realizado con el coagulante de plátano, se realizaron análisis con sulfato de aluminio para fines comparativos, las dosis de coagulante fueron de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L, para un pH inicial de 7.20 del agua y turbidez inicial de 210 UNT del Río Magdalena, los resultados mostraron que la eficiencia de remoción la turbidez para el coagulante natural y sulfato de aluminio fue de 67.5% y 99.4%, con valores de turbiedad final de 68.1 y 1.19, para una dosificación de los coagulantes de 40 mg/L y 100 mg/L, respectivamente.

En el trabajo de investigación de Ortega (2020), titulada: “ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN AGUAS DEL RÍO CHOQUEYAPU DE LA LOCALIDAD DE RÍO ABAJO”, cuya finalidad era estudiar la remoción de la turbidez y metales pesados utilizando como coagulante natural la cáscara de plátano, realizado a través de ensayos con el equipo de prueba de jarras, determinó que la dosis óptima del coagulante natural fue 55 mg/L y para la formación de flocs en la floculación trabajó con 45 revoluciones por minuto (rpm); según la tabla n°51 se observa la disminución de la turbidez de 627 NTU a 24.6 NTU y de la tabla n°52 la remoción de hierro fue de 23.96 mg/L a 0.18 mg/L con una eficiencia del 99.25%.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

En el estudio de Azabache (2017) titulado: “EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, EN LA REMOCIÓN DEL HIERRO (II),

PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA”, donde se evaluó la velocidad de agitación y dosificación para el sulfato de aluminio y cloruro férrico, por el método de “Test de Jarras”, preparando una concentración de ambos coagulantes al 1%, 6 niveles de dosificación (1, 2, 3, 4, 5 y 6 ml) y 5 niveles de velocidades de agitación (100, 150, 200, 250 y 300 rpm). Los resultados reportados a mejores condiciones; con sulfato de aluminio, fue con una concentración de 120 mg/L, una velocidad de 100 rpm de mezcla rápida (1.5 min), 25 rpm de mezcla lenta (15 min) y sedimentación (10 min), disminuyendo la concentración inicial de 1.37 hasta 0.05 mg/L. Y al usar cloruro férrico con una concentración de 80 mg/L, velocidad de mezcla rápida de 200 rpm (1.5 min), velocidad baja de 50 rpm (15 min) y sedimentación (10 min), el Fe (II) disminuyó a 0.20 mg/L. Durante el estudio realizado llega a la conclusión que la diferencia significativa si es apreciable al uso de sulfato aluminio y cloruro férrico-floculante para la reducción de la concentración de Fe (II).

En la tesis de Ramirez (2018) titulado: “APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DEL *MUSA PARADISIACA*, PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS (HIERRO, NÍQUEL Y PLOMO) EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LAS LOCALIDADES DE ESLABÓN Y MITUCRO-INDEPENDENCIA-HUARAZ-ANCASH, DICIEMBRE 2015-JULIO 2016” menciona que los lixiviados del botadero de residuos de Carhuash Jirca, tiene efectos contaminantes en toda la quebrada de Jacahuain, debido al contacto de los contaminantes con las aguas superficiales que tienen muchos usos, entre ellos el consumo humano, para dar solución a este problema se hicieron experimentos aplicando cáscara de *Musa paradisiaca*, plátano, con el objetivo de reducir los metales pesados como son el níquel, plomo y hierro en el agua. Las pruebas se realizaron mediante prueba de jarras, los resultados mostraron la

remoción de hierro de 0.325 mg/L a 0.007 mg/L, utilizando 16.20 mg/L de concentración de la cáscara de plátano, por lo que se concluyó que en la remoción de hierro del agua la cáscara de plátano tiene buena eficiencia de remoción, así como para el resto de metales pesados.

En el trabajo de investigación de Guerra (2021) titulado: USO DEL PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA*) COMO COAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RÍO RÍMAC EN MATUCANA – 2021”, menciona que la cáscara de plátano tiene características para remover iones de metal, debido a su composición química por contener lignina, celulosa y hemicelulosa, que tienen la función de atraer los metales pesados. La metodología que utilizó fue cuantitativa y de tipo aplicada, realizó 3 diferentes concentraciones de 3, 5 y 7 g/L del coagulante natural, con 150 RPM en 3 min y velocidad rápida de 60 min, con tres tiempos de reposo de 15, 30 y 60 min; obteniendo como resultado la remoción del plomo 95.22%, cadmio 99.96% y turbidez del 79.25%.

En la investigación de Prieto (2019) que lleva por título: “ EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL CANAL EL PROGRESO MEDIANTE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO Y YUCA” se evaluó la eficiencia de remoción de la turbidez del agua, de pH igual a 6.94, mediante floculación con almidón de yuca y plátano cuyas concentraciones fueron de 20, 40, 60, y 80 mg/L y para la dosis de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  de: 50, 40, 30, y 20 mg/L los resultados mostraron una remoción eficiente de la turbidez cuya remoción máxima fue de 99.75 % con una dosis de 40 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  con 40 mg/L de almidón de plátano utilizando la prueba de jarras, concluyéndose que este producto es apto para ser usado como coagulante natural.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Coagulante Natural**

Los denominados biocoagulantes o coagulantes naturales son ciertamente seguros, amigables con el ambiente y libres de toxicidad (bajo condiciones adecuadas de uso). Sus compuestos bioactivos son proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides (Banchon, Baquerizo, Muñoz, & Zambrano, 2016). La remediación de la potabilización del agua, la coagulación con biocoagulantes, permite la remoción de turbiedades altas, remoción de sólidos disueltos en términos de DQO, remoción de metales pesados que se han oxidado y reduciendo la carga microbiológica. Los coagulantes naturales no consumen alcalinidad en comparación con los compuestos basados en aluminio o hierro; por lo tanto, no generan cambios bruscos de pH (Banchon, Baquerizo, Muñoz, & Zambrano, 2016).

### **2.2.2. Coagulación**

Se denomina coagulación aquel proceso de desestabilización y agregación de partículas en estado coloidal que se encuentran presentes en el agua cuyo objetivo es neutralizar las cargas eléctricas, con lo que consigue que las fuerzas de repulsión dejen de actuar y los coloides tiendan a agregarse por acción de masas; debido a que, la formación de partículas de mayor tamaño facilita la separación en las siguientes etapas del tratamiento y estas son denominadas flóculos. El proceso se centra en aquellas partículas coloidales de tamaño que estén dentro del rango de  $10^{-4}$  y  $10^{-9}$  m o partículas que no sean separables por otros métodos convencionales (Fibras y Normas Colombianas S.A.S, 2004). Los factores que influyen en este proceso son:

- Color

El color es un indicador de la óptima remoción de contaminantes en agua, para lo cual el valor de pH se debe encontrar entre 4 y 12 unidades.

- Turbiedad

La turbiedad en aguas, se produce debido a la concentración de partículas de arcilla y otros compuestos minerales, en aguas de turbiedad elevada se añade cantidades pequeñas de coagulante, debido a que es más probable conseguir un mejor resultado y un mayor choque de las partículas coloidales.

- Alcalinidad

Los iones  $H^+$  reaccionan con la alcalinidad, en la que se ve favorecida la reacción de desestabilización la que influye en la velocidad de reacción del coagulante en el agua, en aguas con altos valores de alcalinidad se requiere mayor cantidad de coagulante para lograr un descenso de pH.

- pH

Es un indicador de la acidez o base del agua, expresados en números siendo los siguientes: mayor a 0 y menor a 7 es ácida, 7 neutra y de 7 a 14 es básica. También es un parámetro muy importante en la floculación de metales; porque, la mayoría de los metales se encuentran disueltos y no son visibles al ojo humano cuando se encuentra en un medio ácido y cuando se eleva el pH mayores a 7 se forman hidróxidos insolubles, cambiando el color cristalino del agua a un color diferente dependiendo de que metales contenga dicha agua.

Los coagulantes se pueden clasificar en coagulantes metálicos y polielectrolitos poliméricos; sin embargo, el tipo de coagulante que toma como referencia esta investigación es el coagulante natural, convencionalmente son clasificados como alternativos gracias a que estos eliminan agentes microbianos; además, de ser renovables, se tiene dentro de esta clasificación a los coagulantes derivados del almidón y la celulosa, extractos vegetales, entre otros. Estos tienen propiedades catiónicas como

el almidón, quitosano y los taninos, aniónicas como polisacáridos sulfurados y sus derivados, y las que poseen carácter no iónicas son algunos derivados de almidón, derivados de celulosa, gelatinas y galactomanosa (Ortiz Carvajal, 2020).

### **2.2.3. Floculación**

La floculación es un proceso que se realiza en el tratamiento de aguas y se lleva a cabo luego del proceso de coagulación, donde consiste en agitar el agua que ha sido coagulada para obtener aglomeraciones crecientes de las partículas presentes en el agua con la finalidad de que estas tengan mayor tamaño y peso para luego sedimentarse, y así poder remover los flóculos de manera más sencilla y efectiva. Los tipos de floculación se pueden dividir en dos: Floculación pericinetica y ortocinetica (Fibras y Normas Colombianas S.A.S, 2004).

- **Floculación Pericinetica**

La floculación pericinetica se caracteriza por el movimiento Browniano que tiene las partículas, se lleva a cabo en partículas sumamente pequeñas no más de un micrón y solo se manifiesta al inicio del proceso de floculación.

- **Floculación Ortocinetica**

La floculación ortocinetica es consecuente al proceso de floculación pericinetica es decir que ocurre luego, donde incrementa las colisiones entre las partículas por causa de la gradiente de velocidades que perciben, realizando movimientos en diferentes direcciones.

El empleo de floculantes es una práctica usual, debido a la reducción considerable de las dimensiones de los equipos por la acción que producen los floculantes disminuyendo costos; la elección del agente floculante dependerá de los resultados que este pueda mostrar en ensayos a nivel laboratorio las que incluyen pruebas sencillas de comparación de efectos; además, de la determinación de las dosis

correctas. Se dispone de floculantes hechos a base de polímeros que pueden ser de carácter no iónico o modificados para obtener predominantemente cargas aniónicas o catiónicas. La floculación a base de polímeros que presenta una agitación extensa posterior a la adición del polímero puede tener efectos negativos en el proceso, debido a las deficiencias que se puedan presentar en el proceso, por lo que se requiere de una agitación uniforme y completo con adición continua del polímero durante 3 a 15 segundos (Perry, 1994).

El movimiento Browniano es un fenómeno donde las partículas dentro de un gas o fluido tienen un movimiento aleatorio de manera continua (Castañeda Gaviria, 2005, p. 4).

#### **2.2.4. Sedimentación**

La sedimentación es un fenómeno físico y es uno de los procesos en el tratamiento de agua potable para la clarificación. También consiste en la propiedad de la caída de la partícula contenida en el agua.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas; así como, de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculadas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida (Canepa de Vargas, 2004).

#### **2.2.5. Cáscara de Plátano**

El plátano es una de las frutas más cultivadas en el mundo tomando el cuarto lugar de importancia frente al resto de cultivos de fruta. Es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del sudoeste asiático (Gonzales Jimenez & Guerra Moreno, 2016), la cáscara de plátano tiene propiedades tanto nutritivas como medicinales, el estudio de estas ha demostrado que se pueden utilizarse en diversas

actividades como: alimento para animales, fábrica de plásticos, purificación de agua, etc. Además, este producto tiene gran potencial como coagulante debido a la alta concentración de almidón que presenta, potencial referenciado en la investigación de Carrasquero (2017), demostrando la efectividad de la harina de cáscara de plátano como floculante (Ortiz Carvajal, 2020).

**2.2.5.1. Composición de la Cáscara de Plátano.** La cáscara de plátano “es un compuesto lignocelulósico compuesta de: celulosa, hemicelulosa y lignina, pero su composición varía con el origen del material. La cáscara de plátano maduro es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40 % del peso total de la fruta”. (Campos Pardo & Porras Becerra, 2018, p. 13)

En la tabla 1 se presenta las características de la cáscara de banano:

**Tabla 1**

*Características Químicas de la Cáscara de banano*

COMPONENTE	Cáscara de banano (% base seca)
Almidón	39.89
Humedad	89.10
Hemicelulosa	14.8
Celulosa	13.2
Lignina	14
Magnesio	0.16
Calcio	0.29
Cenizas	11.37

Fuente: (Monsalve Gil, Medina De Pérez, & Ruiz Colorado , 2006)

**2.2.5.2. Celulosa.** La celulosa  $(C_6H_{10}O_5)_n$  es un compuesto orgánico que se encuentra en mayor cantidad en la naturaleza, siendo uno de los biopolímeros que tiene un alto contenido porcentual en las plantas, y lo podemos encontrar en abundancia en las paredes celulares. La celulosa en el agua es un compuesto orgánico insoluble con diversas regiones cristalinas de nivel alto de ordenamiento la cual hace que tenga una constitución rígida, así como también sus variadas formas (Carreño, Caicedo, & Martínez, 2012).

**2.2.5.3. Hemicelulosa.** La hemicelulosa es un heteropolisacárido puesto que está compuesta por: glucosa, xilosa, arabinosa a diferencia de la celulosa, se puede obtener por hidrólisis ácida o enzimática; además, la hemicelulosa forma parte de la pared celular de los vegetales donde aproximadamente se encuentra en la tercera parte de los carbohidratos de la estructura leñosa de las plantas.

**2.2.5.4. Pectina.** La pectina es un polímero de tipo ácido y neutro con la característica de ser muy ramificado. Según la cantidad de contenido en las plantas se encuentra en un 30% de la masa seca de las paredes celulares primarias. La porosidad de las paredes es determinada por la pectina de la que dependen el contenido o la disponibilidad de sustratos de las enzimas que causan los cambios en la misma. También hace que las superficies estén cargadas para regular el pH y balance iónico.

**2.2.5.5. Lignina.** La lignina son polímeros de estructura tridimensional, aromáticas, complejas, ramificadas y sin forma. Está constituida a base de unidades de fenilpropanoides y forma parte del 10 al 30% de la biomasa de las plantas, dependiendo de la especie vegetal. Este compuesto es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas y se encarga de formar las capas de la pared celular en conjunto con la hemicelulosa, formando una matriz de redes de lignina-hidratos de carbono alrededor de las microfibras de la celulosa (Ordoñez Pineda & Acosta Peñaloza, 2019).

## **2.2.6. Remoción**

La remoción es un proceso mediante el cual se disminuyen contaminantes o materiales en suspensión encontrados en el agua, como coloides, metales pesados, colorantes, entre otros. Existen diferentes métodos de remoción (Caviedes Rubio, Muños Calderón, Perdomo Gualtero, Rodríguez Acosta, & Sandoval Rojas, 2015).

**2.2.6.1. Filtración por Membrana.** Se utiliza en procesos de tratamiento de agua potable, aguas residuales de procedencia industrial y escasamente en aguas

residuales domiciliarias. Usualmente es utilizado para la recuperación de sales metálicas de residuos de procesos galvanizados, reciclados de aceites, en procesos de producción de alimentos y bebidas; así como, en la producción y explotación de hidrocarburos.

**2.2.6.2. Intercambio Iónico.** En este proceso los iones que están disueltas en el agua son reemplazadas por iones de la misma carga que se encuentra en una matriz sólida liberados al agua, este proceso es físico puesto que los iones no sufren un cambio químico. Las ventajas de este método es que hay una recuperación del valor del metal, selectividad, causa la disminución de lodos generados, entre otros.

**2.2.6.3. Adsorción.** Por lo general son utilizados para eliminar colorantes iónicos, materiales radioactivos, metales pesados entre otros. Su eficiencia de selectividad depende del tipo de adsorbente, así como su forma estructural, tiene un alto potencial de eliminación de metales con una rápida cinética.

**2.2.6.4. Precipitación Química.** Comúnmente utilizado en procesos industriales por su fácil manipulación; además, de ser económica y de buena capacidad selectiva pero su mantenimiento es costoso por el exceso de generación de lodos por la precipitación.

**2.2.6.5. Electrocoagulación.** Ocurre mediante una reacción electrolítica el proceso de coagulación y floculación, el recipiente contiene una fuente de energía eléctrica junto con electrodos quienes son los responsables de aportar iones que causan la desestabilización de las partículas coloidales, remplazando de esta manera las funciones que tienen los compuestos químicos utilizados en tratamientos.

**2.2.6.6. Coagulación – Floculación.** Es un proceso donde los coloides son desestabilizados para posteriormente aglomerarlos por la atracción de partículas y por su peso se sedimentan. En este proceso es muy importante la dosis química, el mezclado y el tiempo de mezcla.

**2.2.6.7. Electroflocculación.** Este proceso es químico por agregación electrolítica de iones con carácter metálico, su eficiencia recae por el arrastre de contaminantes por burbujas de gas de  $H_2$  y  $O_2$ , saliendo a la superficie por flotación.

### **2.2.7. Hierro**

El hierro es uno de los elementos más abundantes en la tierra, ocupando el cuarto lugar frente al resto de elementos, es un constituyente natural del organismo humano (parte de la hemoglobina), pero, aun así, lo requerimos de 10 a 50 mg/día. Por otra parte, el hierro disuelto en el agua puede generar manchas indelebiles sobre artefactos sanitarios como también en la ropa y no solo eso, sino que también puede cambiar el sabor del agua. Las aguas subterráneas exhiben concentraciones de hierro algo superiores a las de las aguas superficiales y casi siempre en forma  $Fe^{+2}$  por su relativo déficit en oxígeno (Campos Pardo & Porras Becerra, 2018).

Las sales solubles de hierro son, por lo general, ferrosas ( $Fe^{+2}$ ) y la especie más frecuente es el bicarbonato ferroso  $Fe(HCO_3)_2$ . Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución.

## **2.3. Bases Teóricas**

### **2.3.1. Calidad de las Aguas Subterráneas**

La calidad de las aguas subterráneas viene dada por la temperatura, contenido de sólidos disueltos y carencia de contaminantes tóxicos y biológicos. Las aguas que contienen sustancias disueltas muy altas; así como, sustancias químicas son por causa de las alteraciones del suelo, y estas pueden ser aguas que tiene un sabor amargo a la que generalmente llamamos como agua dura. Mientras el nivel de salinidad es la preocupación más importante, existen otros sólidos disueltos presentes en el agua subterránea que pueden provocar problemas (Lenntech, 2022).

La calidad del agua se ve alterada debido a la presencia de metales pesados introducidos gracias a las actividades antropogénicas o naturales que cambian los valores de sus parámetros fisicoquímicos, algunos metales pesados introducidos en el agua debido a las actividades industriales o a la lixiviación del suelo y sus incrementos de concentración causan efectos adversos en la salud humana. Algunos de estos metales presentes en el agua subterránea pueden tener orígenes como los que se muestran en la tabla 2 (Ramírez, 2018).

**Tabla 2**

*Contaminantes, Origen y Efectos*

<b>Contaminantes</b>	<b>Origen</b>	<b>Efectos</b>
Plata	Electrodeposición, desinfección del agua	Coloración azul, membranas mucosas en los ojos
Arsénico	Pesticidas, minería, residuos químicos	Cancerígeno, inhibidor de producción de ATP, coagulante de proteínas Reemplaza bioquímicamente al Zn, causantes de presiones altas en la sangre,
Cadmio	Electrodeposición, minería, tuberías	problemas renales, tóxico para la biota activa, afecta enzimas importantes
Cobre	Minería, electrodeposición, residuos industriales	Elemento esencial para la hemoglobina, tóxico para plantas y algas
Mercurio	Minería, pesticidas	Síntomas tóxico-patológicos
Hierro	Minería, rocas ferrosas	Hemocromatosis, fatiga, pérdida de peso, dolor en las articulaciones
Níquel	Minería, lixiviados	Cancerígeno para los pulmones, nariz, laringe y próstata
Plomo	Minería, fundiciones, gasolina, tuberías	Tóxico para el sistema nervioso, inhibidor de síntesis de hemoglobina.

Fuente: (Ramírez, 2018)

### ***Solubilidad del Hierro***

El hierro se encuentra en muchas formas, químicamente diferentes. En el agua su presencia depende de los factores ambientales que se puedan manifestar y de los materiales geológicos en contacto de la cual toma diferentes formas según el material.

En caso del agua oxigenada por regla general esta tendrá menos contenido de hierro ya que contiene mayor cantidad de oxígeno, y en contacto con el hierro forman compuestos insolubles en el agua, ocasionando que el hierro disminuya en ella. En el caso de las aguas superficiales, el hierro tiende a ser atrapado por partículas de material orgánico que se encuentran en suspensión. La cantidad de hierro disuelto en agua a menudo sigue una tendencia de menor a mayor y se reduce a medida que la profundidad del pozo aumenta (Pure Water, 2022).

#### ***2.3.3. Remoción de Hierro***

La remoción de hierro por métodos de aireación, oxidación, sedimentación y filtración son viables económicamente, y su implementación no es nada complicado y tiene una fácil operación. La realización de diversos ensayos nos permite lograr la selección adecuada de los procesos de tratamiento y la construcción de obras de ingeniería sanitaria que cumplan con los objetivos de remover los parámetros que pueden afectar la calidad del agua de abastecimiento (Azabache, 2017).

#### ***2.3.4. Técnicas de Remoción de Hierro***

La filtración es un proceso unitario donde se separan los sólidos en una suspensión mediante un medio filtrante, donde estas retienen la parte sólida dejando pasar el líquido donde se encuentra. La finalidad de separar la parte sólida de la líquida es con la intención de recoger el líquido o la parte sólida, todo depende de lo requerido.

En lo que es tratamiento de aguas, el proceso de filtración se encarga de reducir las partículas suspendidas en el agua como: arena, metales pesados, tierra entre otros,

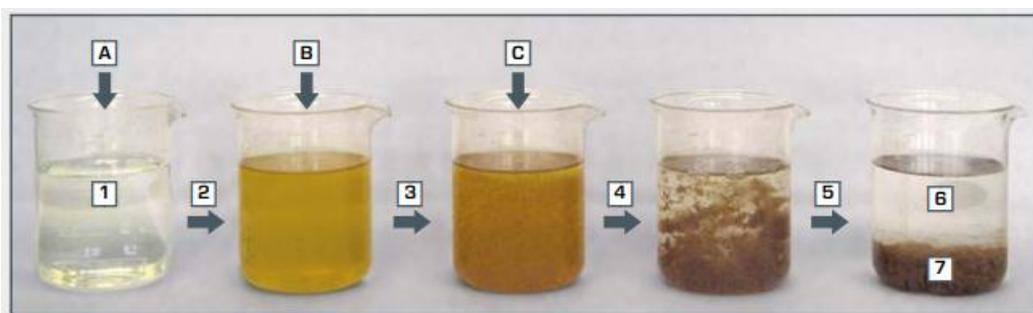
que ocasionan la turbiedad, malos olores, problemas de salud, etc. Para cada tipo de problema existe un medio filtrante a utilizar (Ejemplos: carbón activado, arena verde, grava de cuarzo) (Acoua Tecnología, 2022).

### 2.3.5. *Proceso de Remoción de Hierro*

En la figura 1 se muestra 5 vasos precipitados donde ocurre las etapas de remoción de hierro.

**Figura 1**

*Etapas de Remoción*

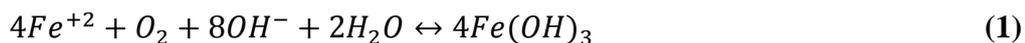


Fuente: (GUNT HAMBURG, 2022)

1. Aguas con metales disueltos: son aguas contaminadas con metales que están disueltos en estado iónico como el hierro.
2. Cloración: tiene la finalidad de formar hidróxidos con los metales.
3. Coagulación: una vez formada los hidróxidos estas son desestabilizadas con polímeros orgánicos o inorgánicos (el coagulante natural de cáscara de plátano actúa como un polímero)
4. Floculación: luego de la coagulación casi instantáneamente ocurre la floculación donde se ve la aglomeración mediante flóculos.
5. Sedimentación: los flóculos por su propia masa caen y forma los sedimentos.
6. Agua depurada: es el agua separada de los metales.
7. Hidróxido de hierro  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ : solo los sedimentos del proceso.

### 2.3.6. Estequiometría de la Reacción de Hierro

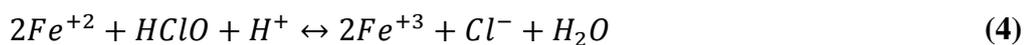
El hierro disuelto en el agua al entrar en contacto con el aire, se oxida cambiando a una forma insoluble, generando que el agua cristalina muestre una turbidez y formación de precipitados en un determinado tiempo (Bracho , Callejón, Ana , Hernández, & Morales , 2012), siendo la reacción la siguiente:



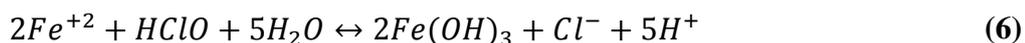
El cloro es un agente oxidante para el hierro disuelto en aguas subterráneas, este se puede aplicar como una solución de hipoclorito ( $ClO^-$ ) o en forma de gas ( $Cl_2$ ), teniendo en cuenta que para una oxidación efectiva del hierro el pH debe de estar entre 6.5-7.5 (Bracho , Callejón, Ana , Hernández, & Morales , 2012). La reacción con hipoclorito de calcio es la siguiente:



El ácido hipocloroso (HOCl) reacciona con el hierro II disuelto en el agua, formando hierro III en un pH menor de 7.57, que luego este se hidroliza formando hidróxido férrico (Olmedo Flores, 2024), siendo las reacciones siguientes:



La siguiente ecuación se obtiene de la suma de la ecuación química 4 con suma del duplicado de la ecuación química 5:



### 2.3.7. Cal Hidratada

La cal hidratada o hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ), es un compuesto utilizado en las plantas de tratamiento del agua para la remoción de la sílice, eliminar material en suspensión, regular el pH, reducir las propiedades organolépticas (olor, sabor y color)

(CALCINOR, 2020). El origen de la cal hidratada empieza de la extracción de las rocas calizas en canteras, estas rocas se someten a temperaturas altas dando como resultado la cal viva y finalmente al mezclar la cal viva con agua se obtiene la cal hidratada (Barreto Valtazar, 2016), involucrando las siguientes reacciones:



En la ecuación 7 se produce la hidratación o el apagado de cal viva.

En la ecuación 8 se produce una disolución de la cal hidratada o cal apagada)

### **2.3.8. Obtención de la Harina Cáscara de Plátano**

#### **Selección**

La cascará de plátano tendrá su procedencia de un buen estado de maduración para evitar problemas de descomposición pronta, para garantizar la operación del secado con adecuadas condiciones del material. Se recolecta una muestra inicial de cáscara de plátano maduro, lo cual tendrá un 15 % de rendimiento al elaborar la harina (Campos Pardo & Porras Becerra, 2018).

#### **Limpieza**

Las cáscaras se someten a un lavado con abundante agua destilada, se somete a una temperatura de 50 °C durante 30 min, con el fin de eliminar impurezas y compuestos solubles tales como: taninos, látex, azúcar- reductora y residuos de pulpa.

#### **Secado**

El material lavado es sometido a un secado en una mufla a temperatura de 90 °C con la finalidad de obtener un producto seco que contenga un 2.5 a 4% de humedad y facilite el molido.

#### **Molienda**

Se muele la cáscara de plátano después del secado hasta tener una textura parecida al del talco, facilitando la disolución con agua.

### **2.3.9. Metales**

Los metales se caracterizan por ser elementos químicos que contienen una elevada densidad. Por lo general, estos metales son tóxicos para la salud de las personas como son el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. Los metales son de carácter bioacumulativos (no pueden ser eliminados por el cuerpo), por esta razón se debe cumplir con las normas que señalan las concentraciones permitidas en las aguas de consumo humano en la legislación vigente (Facsa, 2022).

### **2.3.10. Tratamiento de Agua**

Son distintos procesos donde se eliminan sustancias no deseables del agua, estas pueden ser: físicos, químicos o biológicos. La finalidad de estos procesos es obtener un agua con características adecuadas para su posterior uso. Es por esta razón que existen varios procesos de tratamiento de aguas en función del tipo de agua a tratar; así como, también al uso final que se les dará. En el caso de aguas para el consumo humano, los tratamientos son cada vez más demandados puesto que se ve la carencia de agua potable por la creciente necesidad a nivel mundial. Del total de agua que hay en el planeta, tan solo un 2.5% es agua dulce, y de esa cantidad tan solo el 0.4% es agua apta para el consumo humano (Acciona, 2020).

En el tratamiento del agua potable aplicado en las grandes ciudades del Perú, se utiliza una planta convencional que consiste en varias etapas de tratamiento como es la precloración, mezcla rápida, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección; este tipo de planta permite la remoción de la turbiedad y metales pesados, sedimentos, microorganismo de vida libre, color, olor, dureza y las características que se requieran dependiendo del estado del agua cruda.

Las plantas de tratamiento de agua potable convencionales se deben diseñar de acuerdo al análisis de agua y trazabilidad, se debe hacer con sistema modular que incorpore las etapas del tratamiento antes mencionadas. Estas deben tener su tanque en acero o fibra de vidrio y contener lechos filtrantes para la grava, arena, antracita, carbón activado y/o resinas especializadas (ACUATECNICA S.A.S, 2018).

### **2.3.11. Caracterización del Pozo 2 de la PTAP El Triunfo y Normativa**

La caracterización del pozo 2 de la PTAP El Triunfo se hizo en el laboratorio MC QUIMICALAB en dos fechas distintas, para tener como referencia el alto contenido de hierro disuelto, pH y turbiedad, se resume en las tablas 3 y 4:

**Tabla 3**

*Análisis Físicoquímico del Agua de la PTAP de El Triunfo del Pozo 2 del 12/10/2022*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>M1</b>
Temperatura	°C	19.6
Conductividad	μS/cm	240
pH		6.7
Turbiedad	NTU	17.1
Hierro	mg/L	7.0

Fuente: MC QUIMICALAB – INFORME N°LQ 0566-22.

**Tabla 4**

*Análisis Físicoquímico del Agua de la PTAP de El Triunfo del Pozo 2 del 09/09/2024*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>M2</b>
Temperatura	°C	18.3
Conductividad	μS/cm	250
pH		6.40
Turbiedad	NTU	20.2
Hierro	mg/L	8.4

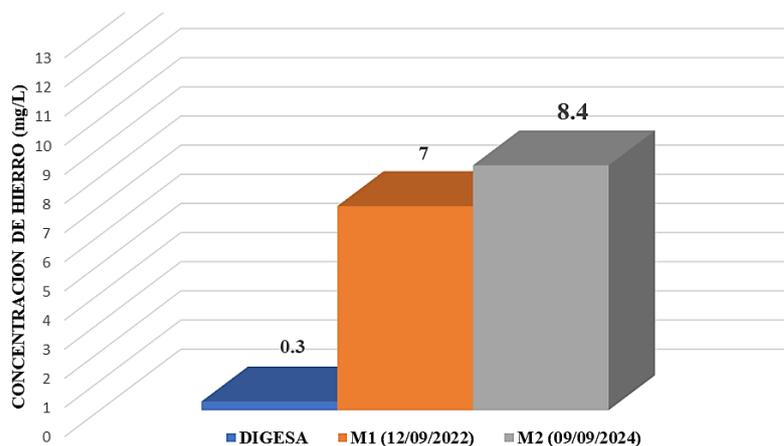
Fuente: MC QUIMICALAB – INFORME N°LQ 0526-24.

Los análisis de las tablas 3 y 4 se obtuvo de los informes del apéndice D y G respectivamente, como se observa en las tablas la presencia del hierro disuelto en el pozo 2 de la PTAP El Triunfo es alto, superando los límites máximo permisibles (LMP) establecido por la DIGESA a través del D.S. N°031-2010-SA (Reglamento de Calidad del agua para consumo humano), Apéndice H.

Como se muestra en la figura 2, el contenido de hierro disuelto en la muestra del pozo 2 sobrepasa el LMP del hierro establecido por la DIGESA.

### Figura 2

*LMP del Hierro Establecido por DIGESA Y las Muestras del Pozo 2*



## Capítulo III

### 3. Metodología de Investigación

#### 3.1. Enfoque de Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se estudia la cáscara de plátano como coagulante natural para la remoción de hierro, determinando el efecto de la concentración de la cáscara de plátano (variable independiente 1) y pH (variable independiente 2) con la concentración de hierro final (variable dependiente), representando con gráficos estadísticos.

#### 3.2. Tipo de Investigación

Se aplicaron conocimientos básicos en la solución de un problema de investigación; por lo tanto, es de tipo aplicada (Serrano, 2020).

#### 3.3. Diseño de Investigación

La investigación tiene un diseño experimental. La prueba estadística utilizado es ANOVA de dos factores con muestras múltiples, utilizando los programas Excel y MINITAB.

Para la elaboración de la tabla 5 se hicieron 3 pruebas de jarras, cada prueba permitía agregar 6 concentraciones diferentes (25, 50, 75, 100, 125 y 150 mg/L) del coagulante, se definió estas concentraciones como una progresión aritmética teniendo como diferencia 25 y también se tomó como referencia las concentraciones que trabajo el autor Ortiz (2020) en su investigación sobre la “Evaluación De La Cáscara De Plátano (*Aab Simmonds*) Como Coagulante Natural Para La Clarificación De Aguas”.

**Tabla 5***Representación del Diseño de la Investigación*

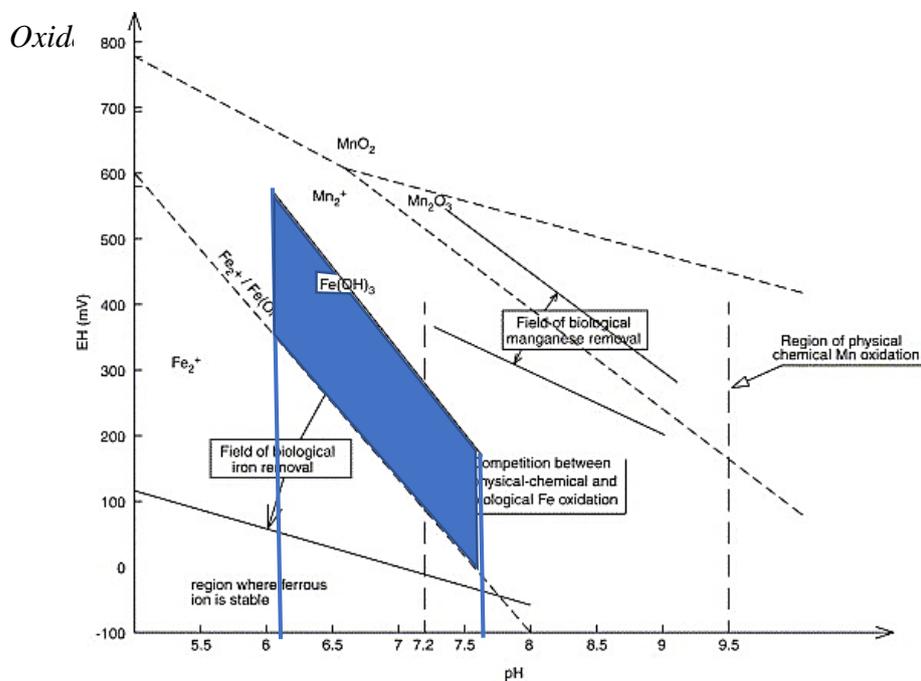
Prueba	Coagulante (g)	Concentración del Coagulante (mg/L)	pH	% de Remoción
1	0.05	25	6.3	-
2	0.10	50		-
3	0.15	75		-
4	0.20	100		-
5	0.25	125		-
6	0.30	150		-
7	0.05	25	6.7	-
8	0.10	50		-
9	0.15	75		-
10	0.20	100		-
11	0.25	125		-
12	0.30	150		-
13	0.05	25	7.4	-
14	0.10	50		-
15	0.15	75		-
16	0.20	100		-
17	0.25	125		-
18	0.30	150		-

Tener en consideración que la oxidación efectiva del hierro es en pH de 6.5-7.5 (Bracho , Callejón, Ana , Hernández, & Morales , 2012), para ajuste del pH se utilizara cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), en las 3 pruebas diferenciadas el pH en la primera será sin acondicionamiento que es un pH a 6.30 como se hizo un previo análisis de la muestra de la PTAP, mientras en los dos siguientes serán de 6.7 (se acondiciona con 15 ml de óxido de calcio de 9010.15 ppm para 2 L de muestra) y 7.4 (se acondiciona con 30 ml óxido de calcio de 9010.15 ppm para 2 L de muestra).

En la figura 3 para la oxidación del Fe con el agente oxidante, sea el oxígeno de la atmosfera y por cloración, la reacción se puede dar entre 6.0 y 8.0 de pH para la

formación de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . En la Investigación se está justificando los valores de pH considerado para el diseño experimental.

**Figura 3**



Fuente: (Marin Burbano, 2011,p. 30)

### 3.4. Reactivos, Materiales, Equipos e Instrumentos

#### 3.4.1. Reactivos

- Hipoclorito de calcio al 65% comercial
- Hidróxido de calcio (cal) 95.23 de pureza comercial
- Reactivo FerroVer de Hach Iron, para muestras de 5 ml

#### 3.4.2. Materiales

- Probeta de 100 ml
- Fiola de 1000 ml y 500 ml
- Pipeta de 10 ml
- pipeta de 500 ml
- Varilla de vidrio

- Recipiente de aluminio de 10 ml
- Tubos de ensayo de 50 ml
- Vasos de precipitados 100 ml y 250 ml
- Espátula metálica de acero inoxidable
- Pinzas
- Mortero
- Bandeja de aluminio
- Utensilios de corte
- Balde de 20 L
- Tamiz 40

#### ***3.4.3. Equipos***

- Prueba de jarras marca PHIPPS&BIRD, modelo 6 vasos de 2 L
- Cocina eléctrica marca NATIONALIZER
- Destilador marca FRAVILL, modelo DS-040
- Horno eléctrico marca BARNSTEAD, modelo N°3611-1

#### ***3.4.4. Instrumentos***

- Colorímetro marca HACH, modelo DR300 para análisis de Hierro
- Turbidímetro marca HACH, modelo TL2350
- pH-metro marca OAKTON, modelo Ph150
- Conductímetro marca HACH, modelo HQ430d flexi
- Termómetro de mercurio
- Balanza digital marca NOTEBOOK, modelo importado

### **3.5. Métodos**

### 3.5.1. Muestra

La muestra investigada fue la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) de tipo bellaco y se tomó en un estado maduro.

### 3.5.2. Caracterización del Agua

La caracterización del agua del pozo 2, se realizará en el laboratorio de la PTAP El Triunfo, en la tabla 6 se presenta el resumen de los análisis:

**Tabla 6**

*Diseño de la Caracterización del Agua del Pozo 2*

n° Etapas	Fecha	Hora	n° Replica	Turbiedad (NTU)	pH Inicial	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Fe Inicial (mg/L)
E1	-	-	3	-	-	-	-	-
E2	-	-	3	-	-	-	-	-
E3	-	-	3	-	-	-	-	-
Promedio				-	-	-	-	-

Antes de la prueba de jarras se realizará la toma de muestra del agua sin tratamiento del pozo 2 para tomar como referencia los promedios de los parámetros: Turbiedad, pH, Temperatura, conductividad y Hierro (Fe).

### 3.5.3. Obtención del Coagulante

Para la obtención de la harina de la cáscara del plátano bellaco o hartón perteneciente a la especie *Musa paradisiaca* (Bernuy Cueva, 2020), por ser el más utilizado en la producción de chifles y como acompañamiento en las comidas típicas de la región Madre de Dios, también porque proviene de las zonas selváticas y cálidas (La República, 2021) como es la región, siendo las etapas las siguientes:

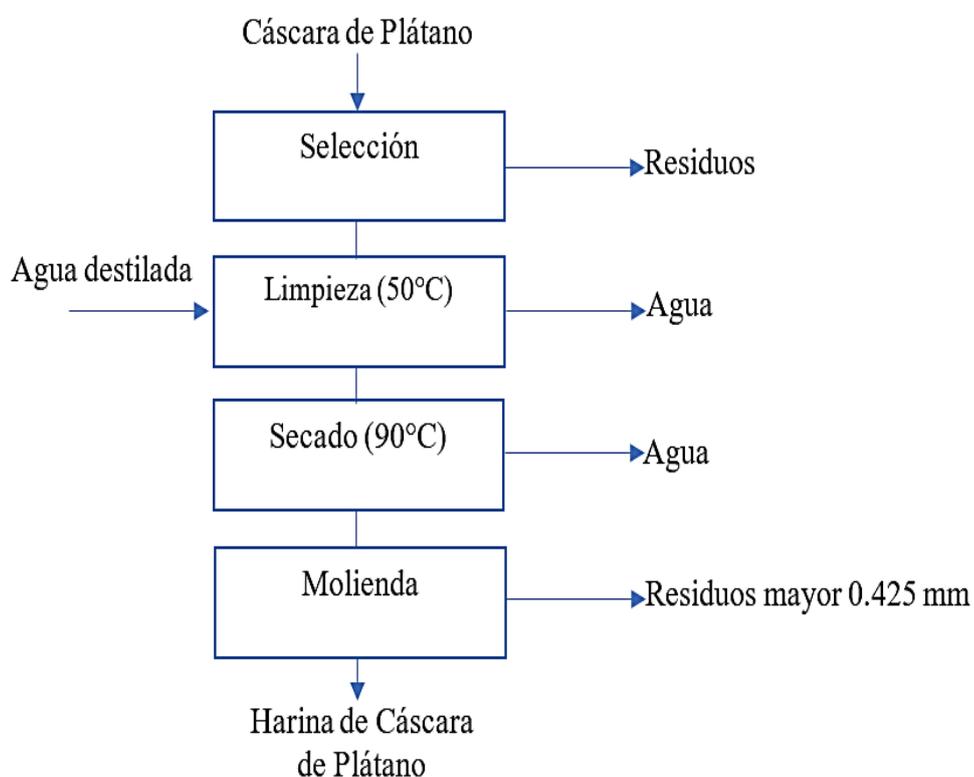
- Selección: se seleccionó solo la cáscara de plátano bellaco, que se encontraba maduro, se hizo cortes de 5 cm de largo aproximadamente.
- Limpieza: se hizo un lavado de la cáscara de plátano con agua destilada, la cáscara se sometió por 15 minutos a una temperatura de 50 °C.

- Secado: se eliminó el agua de la cáscara de plátano en un horno eléctrico a 90 °C por 24 horas.
- Molienda: se molió con un mortero de porcelana para luego pasarlo por un tamiz 40 (425 µm), y obtener la harina de cáscara de plátano.

En la figura 4 se muestra el proceso en diagrama de bloques para la obtención de la harina a partir de la cáscara de plátano:

**Figura 4**

*Diagrama de Bloques para la obtención de la Harina*



### 3.5.4. Proceso de Coagulación

**3.5.4.1. Ajuste del pH.** Para ajustar el pH se usó la cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (apéndice I) en solución, se pesó en sólido 6250 mg de cal hidratada y se aforó en una fiola de 0.5 L, para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{m}{V} \times \% \quad (7)$$

C: Concentración (mg/L o ppm)

m: masa (mg)

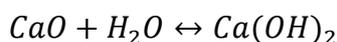
V: Volumen (L)

‰: Porcentaje de Pureza

$$C_{Ca(OH)_2} = \frac{6250 \text{ mg}}{0.5 \text{ L}} \times 95.23\%$$

$$C_{Ca(OH)_2} = 11903.75 \text{ mg/L}$$

Para calcular la concentración de CaO se utiliza la ecuación química 7:



$$C_{CaO} = 11903.75 \frac{\text{mgCa(OH)}_2}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mmolCa(OH)}_2}{74.09 \text{ mgCa(OH)}_2} \times \frac{56.08 \text{ mgCaO}}{1 \text{ mmolCaO}} \times \frac{1 \text{ mmolCaO}}{1 \text{ mmolCa(OH)}_2}$$

$$C_{CaO} = 9010.15 \frac{\text{mgCaO}}{\text{L}}$$

El ajuste del pH de la muestra se tomó como referencia que el ácido hipocloroso (HOCl) reacciona con el hierro II disuelto en el agua, formando hierro III en un pH menor de 7.57, que luego este se hidroliza formando hidróxido férrico (Olmedo Flores, 2024).

De la solución preparada a partir de la cal hidratada, en la etapa 2 se agregó 15 mL de esta solución al vaso de 2 L del equipo para obtener una concentración de 67.57 mg/L de CaO y ajustar a un de pH 6.7, y en la etapa 3 se adicionó 30 mL de la solución para obtener una concentración en el vaso de 135.15 mg/L de cal y ajustar a un pH de 7.4.

#### 3.5.4.2. Preparación del Hipoclorito de Calcio.

- Para la oxidación de los 13.47 mg/L de hierro contenido en el agua del pozo 2 de la PTAP El Triunfo, se tomó como punto de partida el cálculo

de la estequiometria de la concentración del oxidante (HClO) en mg/L de la ecuación química 6:



$$C_{Oxi. Teórico} = 13.47 \frac{mg}{L} Fe \times \frac{1molFe}{56gFe} \times \frac{1molHClO}{2molFe} \times \frac{52.45gHClO}{1molHClO}$$

$$C_{Oxi. Teórico} = 6.31 mg/L$$

- Se pesó 1 g el hipoclorito de calcio (Ca(ClO)<sub>2</sub>) granulado de 65% de cloro activo (apéndice J) que al reaccionar con el agua forma el compuesto oxidante que es el ácido hipocloroso (HClO), luego se aforo con agua destilada en una fiola de 500 mL, se calculó la concentración con ecuación 7:

$$C_{HClO} = \frac{1g[Ca(ClO)_2]}{0.5L} \times \frac{65g[HClO]}{100g[Ca(ClO)_2]}$$

$$C_{HClO} = 1.3 \frac{g}{L} \times \frac{1000mg}{1g}$$

$$C_{HClO} = 1300 mg/L$$

- Se agregó 15 ml de la concentración de ácido hipocloroso (HClO) a 2 litros de agua del pozo 2, se calcula la nueva concentración del oxidante para el vaso de 2 L del equipo, con la siguiente ecuación:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \tag{9}$$

C<sub>1</sub>: Concentración de la disolución.

V<sub>1</sub>: Volumen de la alícuota por tomar de la disolución.

C<sub>2</sub>: Concentración de la disolución diluida.

V<sub>2</sub>: Volumen de la disolución diluida.

$$C_{vaso 2L} = \frac{C_{HOCl} \times V_1}{V_2}$$

$$C_{vaso\ 2L} = \frac{1300 \frac{mg}{L} \times 15mL}{2000mL}$$

$$C_{vaso\ 2L} = 9.75 \frac{mg}{L}$$

### 3.5.4.3. Programación del Equipo de Prueba de Jarras.

Para la programación del equipo de prueba de jarras se tomó como referencia los datos con los que trabaja la PTAP del centro poblado El Triunfo; porque, la planta utiliza un coagulante sintético para remover hierro, siendo los siguientes:

- En la homogenización, el tiempo es de 90 segundos y la velocidad de 40 revoluciones por minuto (rpm).
- En la mezcla rápida, el tiempo es de 5 segundos y la velocidad de 300 revoluciones por minuto (rpm).
- En la mezcla lenta, el tiempo es de 20 minutos y la velocidad de 40 revoluciones por minuto (rpm).
- En sedimentación el tiempo es de 20 minutos.

### 3.5.4.4. Prueba de Jarras

- Para cada prueba de jarra se tomó 20 litros de agua cruda (pozo 2) en balde y se trasladó al laboratorio.
- Se homogenizó el agua cruda en el balde, llenando los vasos de 2 litros del equipo de prueba de jarras; luego se procedió a configurar el equipo los cuatro tiempos y velocidades:
  - T1=90 s con una v1=40 rpm (homogenización)
  - T2=5 s con v2=300 rpm (mezcla rápida)
  - T3=20 min con v3=40 rpm (mezcla Coagulación y floculación)
  - T4=20 min con v4=0 rpm (sedimentación)

- Configurado el equipo el agua cruda se homogenizó durante 90 segundos; luego, inmediatamente se mezcló durante 5 segundos con los siguientes insumos químicos:

#### ETAPA N°1

Se agregó 15 ml de la disolución del oxidante preparado, la concentración en el vaso de 2 L del equipo es de 9.75 ppm, y de una solución de coagulante natural de 10000 ppm se agrega a cada vaso de 2L 5mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL, 25 mL y 30 mL del coagulante para obtener una concentración del coagulante en cada vaso de 2L de 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 125 ppm y 150 ppm, respectivamente.

#### ETAPA N°2

15 ml de la disolución del oxidante preparado, 15 ml de la disolución del hidróxido de calcio y coagulante natural a las concentraciones de 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm respectivamente.

#### ETAPA N°3

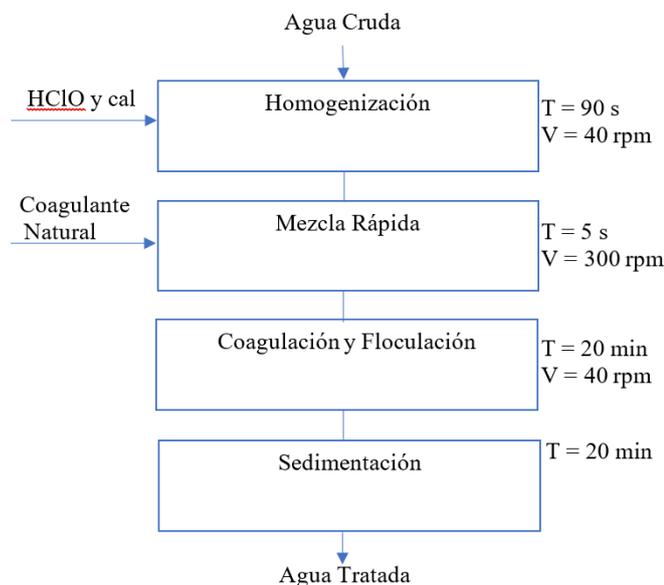
15 ml de la disolución del oxidante preparado, 30 ml de la disolución del Hidróxido de calcio y coagulante natural a las concentraciones de 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm respectivamente.

- Luego de la mezcla rápida, el equipo procedió a la coagulación y floculación durante 20 minutos, finalizando con la sedimentación que duró 20 minutos.
- Al finalizar los procesos de las pruebas de jarras, se tomó una muestra de 125 ml aproximadamente por cada vaso del equipo, para medir el pH, turbiedad, conductividad y concentración del hierro.

La figura 5, presenta el diagrama de bloques de los procesos que ocurre en la prueba de jarras:

**Figura 5**

*Diagrama de Bloques de los Procesos*



**3.5.4.5. Porcentaje de Remoción.** Para el cálculo del porcentaje de remoción se usa la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (8)$$

C<sub>i</sub>: Concentración inicial del hierro en el agua

C<sub>f</sub>: Concentración final del en el agua

### 3.5.4.6. Técnicas de Recolección de Datos.

**3.5.4.6.1. Técnicas.** Recolección de datos de pruebas experimentales de parámetros de operación de los Test de Jarras y toma de datos de estos mismos.

Para responder las hipótesis de la investigación se trabaja con un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y 3 repeticiones, con la finalidad de analizar el efecto de cada factor (variable independiente) y su interacción, la hipótesis estadística

nula establece que todas las medias de la población son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente:

$$\mu_{0X}: \mu_{0X} = \mu_{1X} = \mu_{2X} = \dots = \mu_{jX} \quad (9)$$

$$\mu_{1X}: \text{al menos una } \mu_{jX} \text{ es diferente} \quad (10)$$

**3.5.4.6.2. F Calculado.** La regla de decisión para rechazar la hipótesis nula de los factores independientes y su interacción, es que el F calculado debe de ser mayor al nivel de confianza  $\alpha$ .

$$F_{calc}(A) \geq F_{\alpha,(a-1),ab(n-1)} \quad (11)$$

$$F_{calc}(B) \geq F_{\alpha,(b-1),ab(n-1)} \quad (12)$$

$$F_{calc}(AB) \geq F_{\alpha,(a-1)(b-1),ab(n-1)} \quad (13)$$

a: Es la cantidad de tratamientos del factor A.

b: Es la cantidad de tratamientos del factor B.

n: Es el número de réplicas del experimento.

En la tabla 7 se presenta resumen de las fórmulas para el análisis de varianza:

**Tabla 7**

*Tabla de ANOVA para dos factores*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F <sub>Calculado</sub>
Factor 1 (A)	a - 1	$SC_A = \sum_{i:1}^a \frac{X_{i.}^2}{bn} - \frac{X^2}{abn}$	$CM_A = SC_A/g.l.A$	$F_A = CM_A/ CME$
Factor 2 (B)	b - 1	$SC_B = \sum_{j:1}^b \frac{X_{.j}^2}{an} - \frac{X^2}{abn}$	$CM_B = SC_B/g.l.B$	$F_B = CM_B/ CME$
Interacción AB	(a - 1)(b - 1)	$SC_{AB} = SC_{Subt} + SC_A + SC_B$ $SC_{Subt} = \sum_{i:1}^a \sum_{j:1}^b \frac{X_{ij.}^2}{n} - \frac{X^2}{abn}$	$CM_{AB} = SC_{AB}/g.l.AB$	$F_{AB} = CM_{AB}/ CME$
Error	ab(n - 1)	$SCE = SCT - SC_{Subt}$	$CME = SCE/g.l.Error$	
Total	abn - 1	$SCT = SCE + SC_A + SC_B + SC_{AB}$		

Fuente: (Bech Vertti, 2018, p. 135)

g.l.: Grados de libertad

**3.5.4.6.3. P Valor.** Otra forma de interpretación de la significancia de la hipótesis nula es a través del p valor, cuando un  $p < 0.05$  (nivel de significancia) la hipótesis nula se rechaza y si la  $p > 0.05$  la hipótesis nula se acepta.

**3.5.4.6.4. Comparación de Medias por el Método de Tukey.** Para diferenciar las medias que son significativamente diferentes se utilizará el método de Tukey, “el método es un ejemplo de un procedimiento post hoc (o a posterior), pues las hipótesis de interés son formuladas después que los datos han sido inspeccionados” (Bech Vertti, 2018, p. 135)

Al utilizar el método de Tukey las medias de los tratamientos se ordenan de manera descendente y se comparan las diferencias observadas entre cada par de promedios con el valor correspondiente al rango o alcance crítico. Si  $|\bar{x}_i - \bar{x}_j| \geq$  rango o alcance crítico, se concluye que las medias poblacionales  $\mu_i$  y  $\mu_j$  son diferentes.

- Rango o alcance crítico para el factor A

$$T_A = q_{\alpha, a, (ab)(n-1)} \sqrt{\frac{CME}{bn}} \quad (14)$$

- Rango o alcance crítico para el factor B

$$T_A = q_{\alpha, b, (ab)(n-1)} \sqrt{\frac{CME}{an}} \quad (15)$$

El valor  $q_\alpha$  se obtiene de tablas con valores críticos para la prueba de Tukey de un  $\alpha = 0.05$  o  $0.01$ , el programa MINITAB contiene todos esos valores en su programación.

### 3.5.4.7. Variables

- **Variable dependiente:** La variable dependiente es la Remoción de Fe (%).
- **Variable Independiente 1:** La variable dependiente 1 es la concentración de la cáscara de plátano.

- **Variable Independiente 2:** La variable independiente 2 es el pH.

### 3.5.4.8. Operación de variables

En la tabla 11 se resumen la operación de las variables del trabajo de investigación:

**Tabla 8**

#### *Operación de Variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Dependiente: % de remoción de Fe	Reducción de la concentración de Fe en el agua del pozo 2	Concentración de Fe con ensayos experimentales antes y después del tratamiento	Concentración de Fe en el agua	% de Remoción de Fe
Independiente 1: Coagulante cáscara de plátano	Polvo de cáscara de plátano como coagulante natural	Se prepararon diferentes cantidades de polvo de cáscara de plátano para usarlos como coagulantes	Dosificación de la cáscara de plátano	Concentración de coagulante de cáscara de plátano: 25, 50, 75, 100, 125, 150 (mg/L)
Independiente 2: pH del agua	Es la Medida del grado de acidez o alcalinidad del agua	pH adecuado para el tratamiento	pH del agua tratada	Diferentes pH: 6.3, 6.7 y 7.4

### 3.5.5. Parámetros del Proceso

De las muestras obtenidas se realizarán 54 experimentos, para determinar los parámetros de pH y dosis de concentración de coagulante con el mayor porcentaje de remoción de hierro.

## Capítulo IV

### 4. Resultados y Discusiones

#### 4.1. Caracterización del agua del pozo 2

Los análisis fisicoquímicos del agua del pozo 2 de la PTAP “El Triunfo”, se realizó en el laboratorio de la PTAP El Triunfo, laboratorio donde se hacen los análisis fisicoquímicos del agua potable, pozos y agua en tratamiento de la PTAP (Anexo D).

En la Tabla 12, se muestra 3 etapas y sus 3 réplicas por etapa, en cada réplica se hizo el análisis inicial de turbiedad, pH, temperatura, conductividad y Hierro.

**Tabla 9**

*Análisis Fisicoquímico del Agua Cruda del Pozo 2*

n° Etapas	Fecha	Hora	n° Replica	Turbiedad (NTU)	pH Inicial	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Fe Inicial (mg/L)
E1	24/08/2024	17:30	1	2.33	6.27	25.9	275	12.72
E1	22/09/2024	16:08	2	4.34	6.33	26.6	264	13.95
E1	22/09/2024	17:53	3	3.81	6.32	26.5	265	14.45
E2	24/08/2024	20:01	1	2.76	6.27	25.3	263	12.12
E2	22/09/2024	19:43	2	3.96	6.34	26.6	265	13.60
E2	22/09/2024	21:42	3	3.70	6.31	26.6	265	14.50
E3	24/08/2024	21:30	1	2.65	6.26	24.5	263	12.44
E3	23/09/2024	09:40	2	4.95	6.45	26.6	265	13.80
E3	23/09/2024	11:50	3	4.91	6.40	26.8	264	13.65
Promedio				3.71	6.33	26.16	265.44	13.47

De la tabla 9 se obtiene un promedio de hierro inicial de los análisis de todas las etapas de la experimentación de 13.47 mg/L, dato el cual servirá para el cálculo del porcentaje de remoción en los resultados de los análisis del proceso.

De las investigaciones de Azabache (2017) y Ramírez (2018), trabajaron con aguas de quebradas con contenido de hierro de 1.37 mg/L y 0.325 mg/L respectivamente, el contenido de hierro del agua subterránea trabajada en la presente investigación contiene una alta concentración de hierro disuelto de 13.47 mg/L, la diferencia puede atribuirse al origen de la fuente.

#### **4.2. Obtención de la Harina de la Cáscara de Plátano**

Para la obtención de la harina de la cáscara de plátano, de un 1kg de la materia prima se obtuvo 50.55g de cáscara de plátano molida con una granulometría de 425  $\mu\text{m}$ , eliminando el agua y cáscara no deseada, el 94.94% de desperdicio.

En la investigación de Guerra (2021), trabaja con cáscara de plátano maduro con 600  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ , teniendo mejor resultado de remoción de turbidez del 79.25 % y metales más del 90% en el tratamiento del agua residual, en el trabajo de investigación la obtención de la harina de cáscara de plátano con granulometría de 425  $\mu\text{m}$  la remoción del metal hierro fue del 96.59% y la remoción de la turbidez no fue significativa por el bajo contenido de turbiedad al ser agua de pozo; por lo que, la granulometría de harina de cáscara de plátano del trabajo de investigación ofrece buenos resultados en la remoción de Fe.

#### **4.3. Proceso de Coagulación y Floculación**

El mejor porcentaje de remoción del hierro en el agua, según la tabla 13, fue de 96.59%, teniendo una concentración inicial de hierro de 13.47 mg/L y una concentración de hierro final de 0.46 mg/L, que se trabajó con una concentración de coagulante de la cáscara de plátano de 25 mg/L. Comparando con la investigación de Ortiz (2020), removio hierro de 200 mg/L a 0.01mg/L con una eficiencia de 99.99% y con una concentración de coagulante natural de 90 mg/L. La diferencia podría atribuirse a las características diferentes del agua con la que se trabaja en el experimento.

En la tabla 10 se presenta los resultados después del proceso de coagulación y floculación:

**Tabla 10***Resumen de los Resultados del Anexo 1*

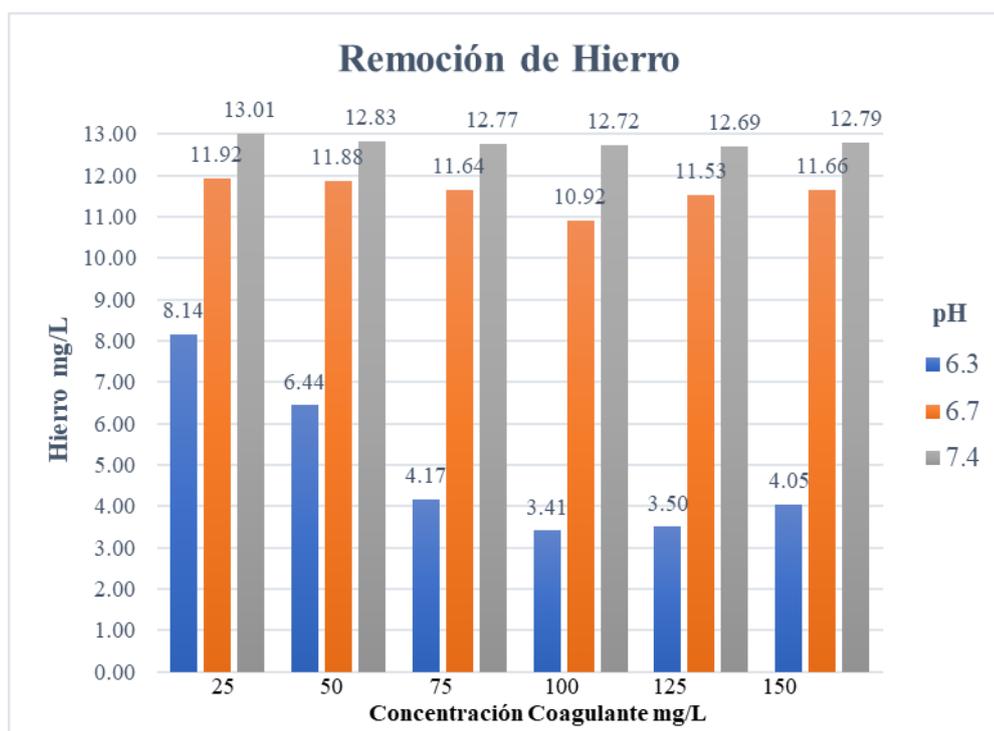
n° Etapa	Concentración de Coagulante (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Fe Final (mg/L)	Remoción de hierro	% remoción
E1	25	6.3	5.38	5.327	8.14	60.46
	50		7.65	7.033	6.44	47.79
	75		9.78	9.300	4.17	30.96
	100		10.97	10.063	3.41	25.29
	125		11.47	9.970	3.50	25.98
	150		10.40	9.420	4.05	30.07
E2	25	6.7	2.68	1.547	11.92	88.52
	50		2.20	1.593	11.88	88.17
	75		2.80	1.827	11.64	86.44
	100		3.34	2.553	10.92	81.04
	125		3.02	1.940	11.53	85.60
	150		2.88	1.810	11.66	86.56
E3	25	7.4	1.73	0.460	13.01	96.59
	50		1.94	0.640	12.83	95.25
	75		2.05	0.697	12.77	94.83
	100		2.20	0.747	12.72	94.46
	125		2.65	0.780	12.69	94.21
	150		1.86	0.680	12.79	94.95

La turbiedad promedio inicial del pozo 2 fue de 3.71 UNT (tabla 10), reduciendo a 1.73 UNT (tabla 13), resultando una eficiencia del 53.37%, con una concentración de coagulante natural de 25 mg/L y pH de 7.4. Comparando con la investigación de Sierra & Navarro (2019), removió la turbidez el río Magdalena de 210 UNT a 68.1 UNT, con una eficiencia de 67.5%, para una dosificación del coagulante natural de 40 mg/L. La diferencia de las eficiencias se debe las diferentes fuentes naturales y características del agua.

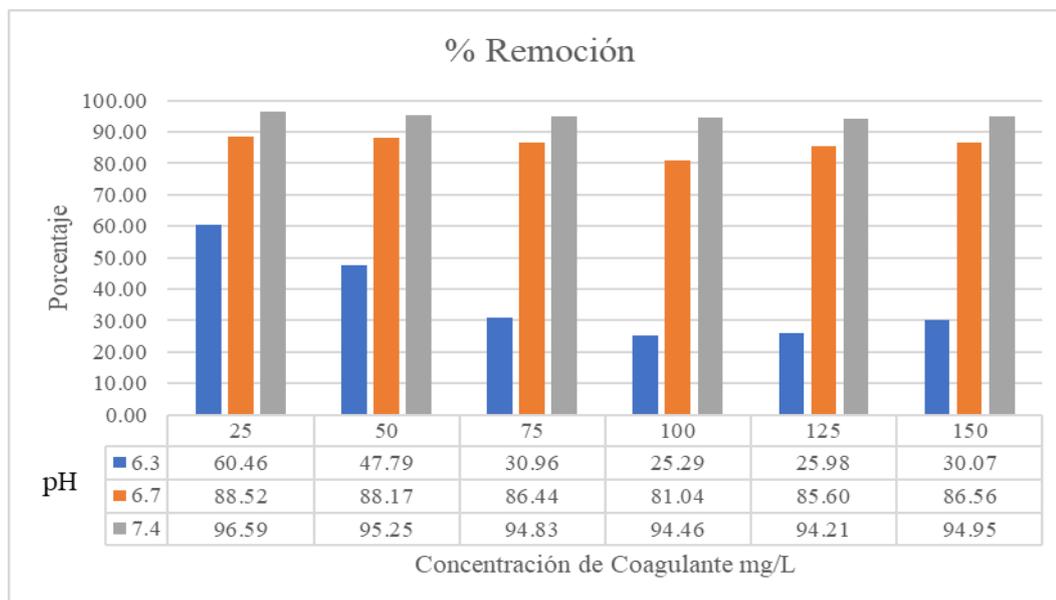
De la figura 6, se muestra la remoción del hierro con las diferentes concentraciones de coagulante de cáscara de plátano y a diferentes pH. La máxima remoción de hierro es de 13.01 mg/L a una concentración de coagulante natural 25 mg/L y pH de 7.4, y la mínima remoción de hierro es de 3.41 mg/L con una concentración de coagulante natural de 100 mg/L y pH 6.3.

**Figura 6**

*Remoción de Hierro*



En la Figura 7, se muestra el porcentaje de remoción de hierro para las diferentes concentraciones de coagulante y pH, los porcentajes de remoción mayores para la etapa 1, etapa 2 y etapa 3 es de 60.46%, 88.52% y 96.59%, respectivamente, con una concentración de coagulante de 25 mg/L para todas las etapas.

**Figura 7***% Remoción de Hierro*

De la investigación de Ortega (2020), determinó la dosis óptima de coagulante natural a partir de la cáscara de plátano de 55 mg/L para remover una concentración de hierro de 23.96 mg/L a .18 mg/L con una eficiencia del 99.25%. En el presente trabajo de investigación se removio hierro de 13.47 a 0.46 mg/L con una eficiencia del 96.59%. La diferencia se puede atribuir que Ortega (2020) en su investigación trabajo con agua de río, que por su naturaleza tiene mas contacto con el oxígeno del ambiente, facilitando la formacion de los hidroxidos de hierro que el agua subterránea.

#### 4.4. Análisis Estadístico

##### 4.4.1. Análisis de Varianza

En la tabla 14 se presenta la información de las variables independientes:

**Tabla 11***Información del Factor*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Concentración del coagulante (mg/L)	Fijo	6	25; 50; 75; 100; 125; 150
pH	Fijo	3	6.3; 6.7; 7.4

Nota\* Tabla Obtenida del programa MINITAB 2019

En la tabla 12 se aplica el análisis de varianza de la concentración del coagulante, pH y su interacción, los valores de pH son el resultado como se justifica en la Tabla 5.

**Tabla 12**

*Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>	<b>Valor crítico F</b>
Concentración Coagulante (mg/L)	5	26.37	5.274	3.90	0.006	2.477
pH	2	643.27	321.637	237.70	0.000	3.254
Concentración Coagulante (mg/L)*pH	10	30.72	3.072	2.27	0.035	2.106
Error	36	48.71	1.353	-	-	
Total	53	749.08	-	-	-	

Nota\* Tabla Obtenida del programa MINITAB 2019

En la Tabla 12, se muestra el análisis de la varianza de cada efecto y su interacción con MINITAB 2019, para cada valor F calculado con el programa, el valor crítico F de cada uno es menor; por lo que, se rechaza la hipótesis nula. También se corrobora con el nivel de significancia de 0.05, para todos los valores P obtenidos son menores al nivel de significancia.

El rechazo de la hipótesis nula para el pH, se interpreta que existe diferencias de las medias de la remoción del hierro para los diferentes pH trabajados en el experimento.

El rechazo de la hipótesis nula para la interacción del coagulante y el pH con cal hidratada, se interpreta que existe diferencias de las medias de la remoción del hierro aplicando ambos efectos a la vez.

En la tabla 13 se resume el modelo obtenido del programa MINITAB 2019:

**Tabla 13**

*Resumen del Modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.16324	93.50%	90.43%	85.37%

Nota\* Tabla Obtenida del programa MINITAB 2019

La desviación estándar da un valor de 1.16324, indica que la mayoría de los datos de la concentración final del Fe del agua tratada se encuentran dentro del rango de ese valor, el valor de 93.50% del R cuadrado indica que los datos no se encuentran muy dispersos y R cuadrado de predicción se asemeja con el R cuadrado ajustado, lo que indica que existe valores atípicos como se muestra en la tabla 14, el R cuadrado también nos indica que las variables de pH y la concentración de coagulante son parámetros que considerar para la remoción de hierro, puesto que tiene un porcentaje significativo de 93.50%, quiere decir que para cada parámetro utilizado se obtuvo una remoción diferente.

**Tabla 14**

*Ajustes y Diagnóstico para Observaciones poco Comunes*

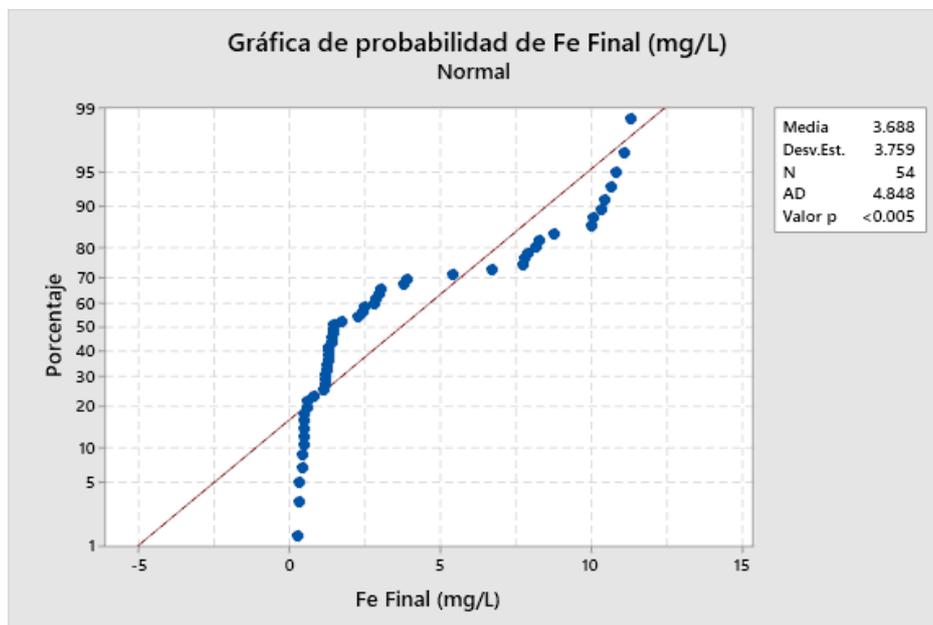
Obs	Fe Final (mg/L)	Ajuste	Resid	Resid est.	
37	8.300	5.327	2.973	3.13	R
39	6.700	9.300	-2.600	-2.74	R
40	7.740	10.063	-2.323	-2.45	R

Nota\* Residuo grande R

En la figura 8 se comprueba que los datos no siguen una distribución normal, porque el valor de p es menor al alfa  $\alpha$ ; por lo tanto, sé que rechaza la hipótesis nula.

**Figura 8**

*Probabilidad Normalidad de los Datos en MINITAB 2019*



En la tabla 15 se presenta el resumen las medias ajustadas y el error de estándar de la media, de los efectos y la interacción:

**Tabla 15**

*Medias de los Efectos y su Interacción*

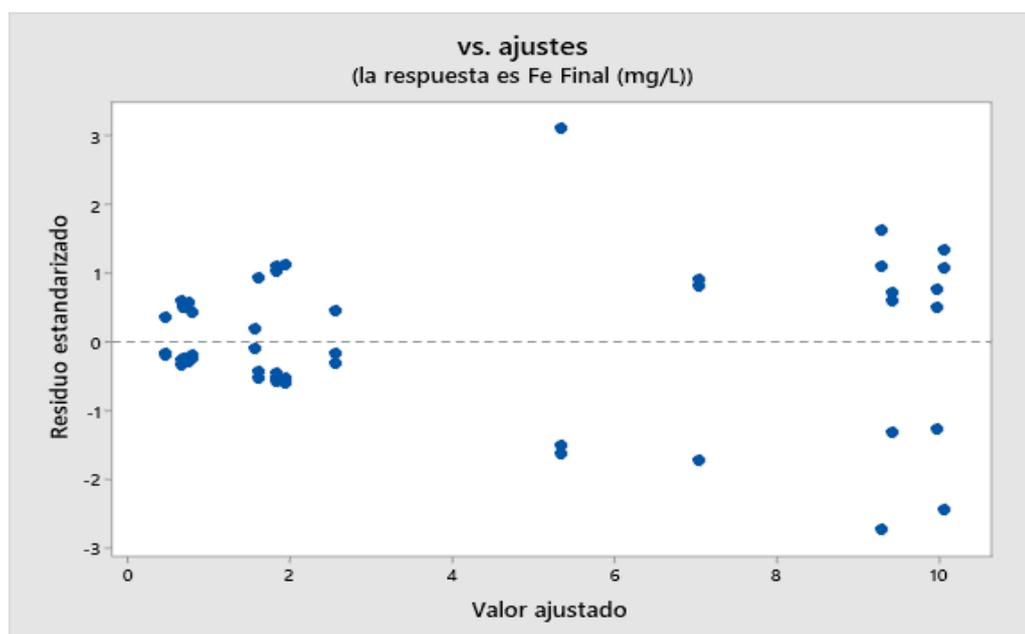
<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
Coagulante (mg/L)		
25	2.444	0.388
50	3.089	0.388
75	3.941	0.388
100	4.454	0.388
125	4.230	0.388
150	3.970	0.388
pH		
6.3	8.519	0.274
6.7	1.878	0.274
7.4	0.667	0.274
Coagulante (mg/L)*pH		
25/6.3	5.327	0.672
25/6.7	1.547	0.672
25/7.4	0.460	0.672
50/6.3	7.033	0.672
50/6.7	1.593	0.672

50/7.4	0.640	0.672
75/6.3	9.300	0.672
75/6.7	1.827	0.672
75/7.4	0.697	0.672
100/6.3	10.063	0.672
100/6.7	2.553	0.672
100/7.4	0.747	0.672
125/6.3	9.970	0.672
125/6.7	1.940	0.672
125/7.4	0.780	0.672
150/6.3	9.420	0.672
150/6.7	1.810	0.672
150/7.4	0.680	0.672

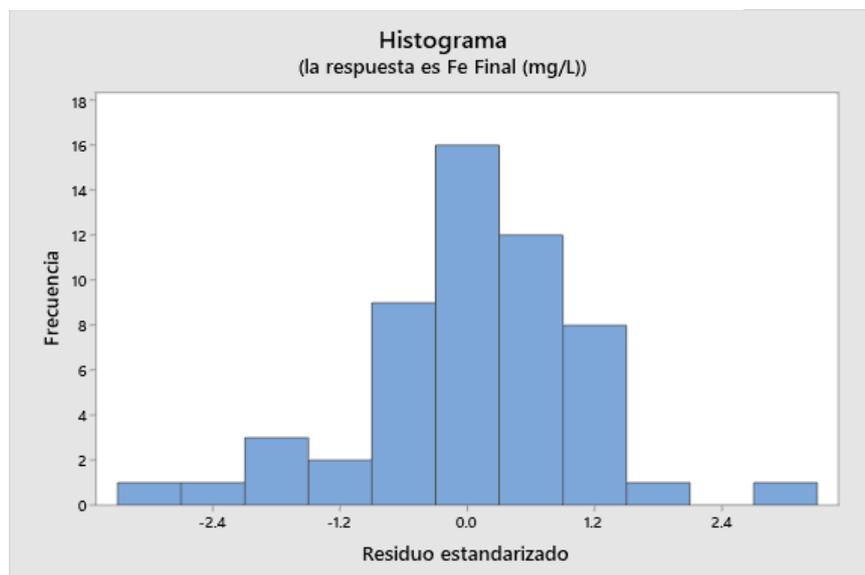
En la figura 9 se puede observar que los datos tienden a formar un trapecio, lo que indica el rechazo de la hipótesis nula.

### Figura 9

*Residuo vs Valor Ajustado en MINITAB 2019*



En la gráfica 10 se observa en el histograma un espacio vacío en el eje x, lo que indica que existe un dato atípico, y las barras no forman una campana, lo que se atribuye en la gráfica no existe una distribución normal.

**Figura 10***Histograma*

#### ***4.4.3. Análisis de la Hipótesis***

La hipótesis planteada en el trabajo de investigación al aplicar ANOVA, existe una influencia significativa de la concentración del coagulante de cáscara de plátano y pH en el proceso de remoción de hierro del agua del pozo 2 de la PTAP El Triunfo.

#### **4.5. Método de Tukey**

##### ***4.5.1. Comparación de Tukey: Concentración Coagulante (mg/L) y pH***

La comparación de Tukey con la interacción de la concentración de coagulante y pH, se corrobora que la mayoría de los tratamientos son significativamente diferentes; por lo que, se interpreta que trabajando a diferentes concentraciones del coagulante y pH se obtendrá diferentes concentraciones de hierro final.

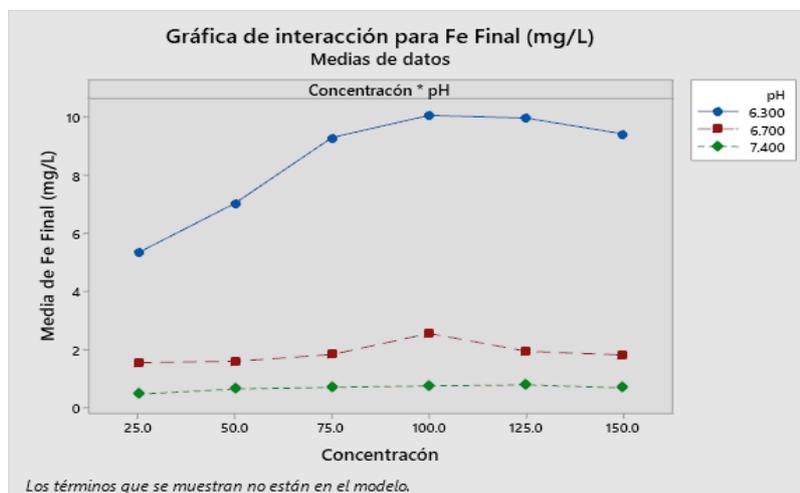
En la tabla 16 se presenta la comparación por el método de Tukey la concentración y pH.

**Tabla 16***Tukey: Concentración Coagulante y pH*

Concentración Coagulante (mg/L)	pH	N	Media	Agrupación	
100	6.3	3	10.0633	A	
125		3	9.9700	A	
150		3	9.4200	A	
75		3	9.3000	A	
50		3	7.0333	A	B
25		3	5.3267	B	C
100	6.7	3	2.5533	C	D
125		3	1.9400	C	D
75		3	1.8267	C	D
150		3	1.8100	C	D
50		3	1.5933		D
25		3	1.5467		D
125	7.4	3	0.7800		D
100		3	0.7467		D
75		3	0.6967		D
150		3	0.6800		D
50		3	0.6400		D
25		3	0.4600		D

Nota \*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De la figura 11, las curvas de pH indican que existen diferencias de remoción del hierro final; por lo que, aumento el pH y a menor concentración de coagulante la concentración del hierro final será menor.

**Figura 11***Interacción del Coagulante y pH con MINITAB 2019*

#### 4.5.2. Comparación de Tukey: Concentración coagulante

El análisis con el método de Tukey solo aplicado para la concentración del coagulante.

En la tabla 17 se presenta el resumen de método Tukey e indica que trabajar con 100, 125, y 25 mg/L existe diferencia significativa de las medias de la concentración final de hierro.

**Tabla 17**

*Tukey: Coagulante*

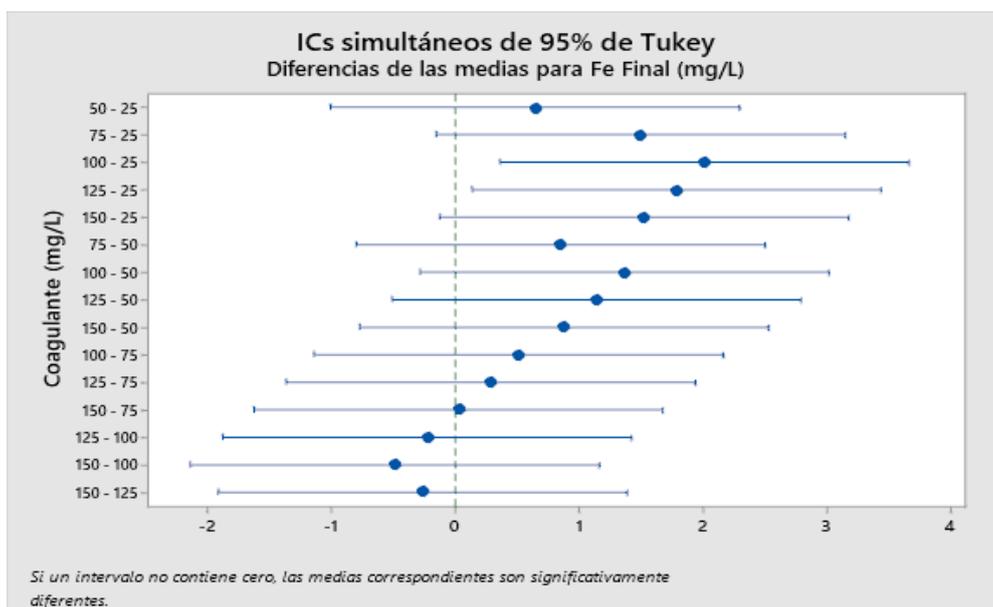
Coagulante (mg/L)	N	Media	Agrupación
100	9	4.45444	A
125	9	4.23000	A
150	9	3.97000	A B
75	9	3.94111	A B
50	9	3.08889	A B
25	9	2.44444	B

Nota\* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 12 se muestran los intervalos que no contienen al cero, las medias son significativamente diferentes.

**Figura 12**

*Intervalo de las Media con Respecto al Coagulante*



### 4.5.3. Comparación de Tukey: pH

En la tabla 18 se presenta el resumen del método Tukey e indica que trabajando a diferentes pH existe diferencia significativa de las medias de la concentración final de hierro.

**Tabla 18**

*Tukey: pH*

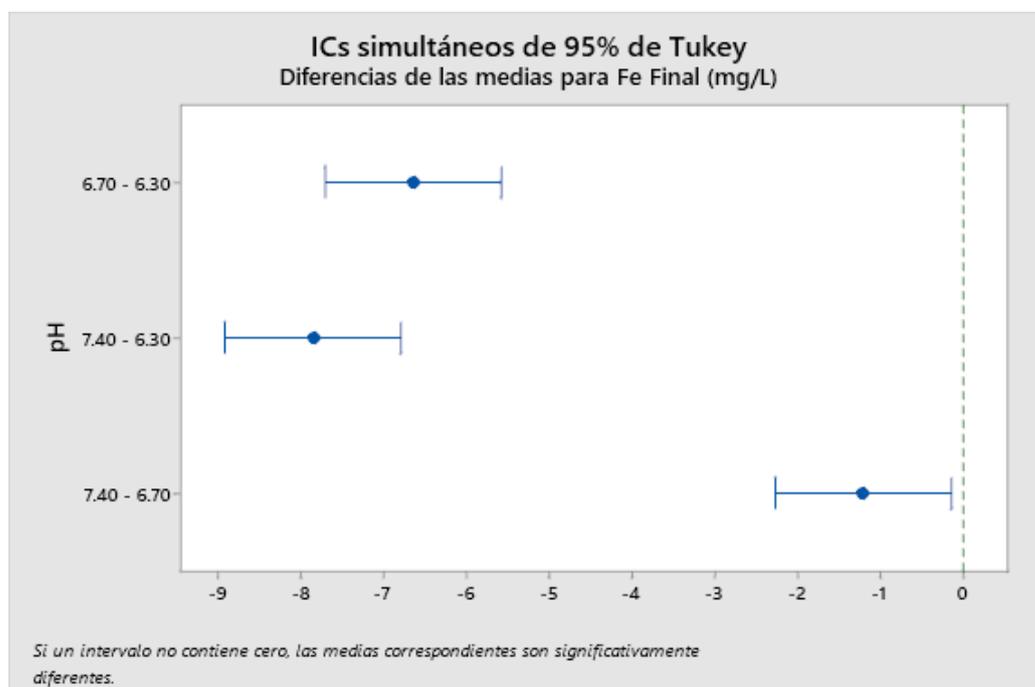
pH	N	Media	Agrupación
6.3	18	8.51889	A
6.7	18	1.87833	B
7.4	18	0.66722	C

Nota\* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la figura 13, se observa que los intervalos no contienen al cero; por lo tanto, todas las medias estudiadas solo para el pH son diferentes.

**Figura 13**

*Intervalo de las Medias con Respecto al pH*

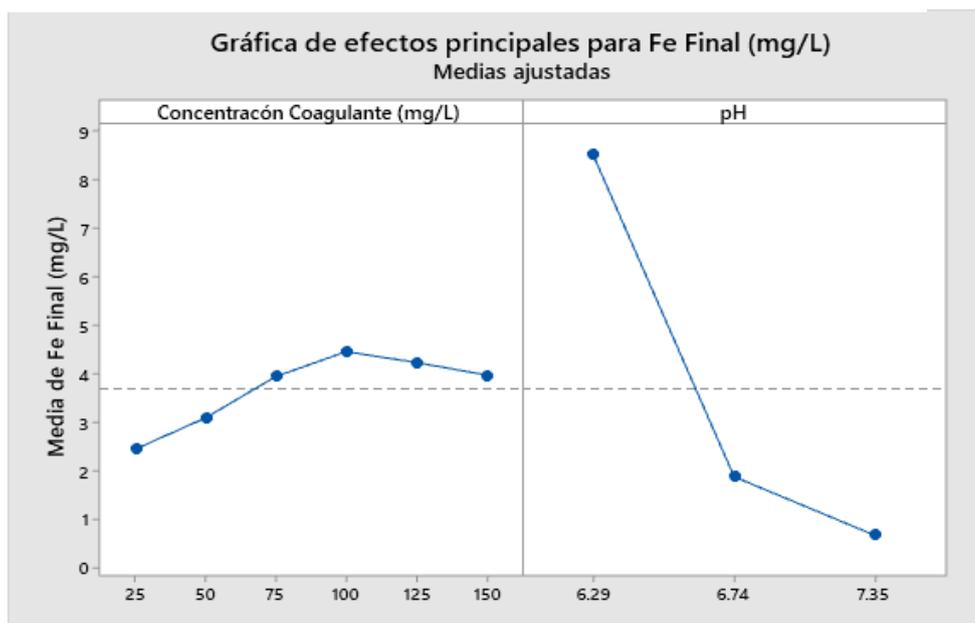


#### 4.5.4. Efectos Principales

De la figura 14, se estudia los efectos principales del trabajo de investigación; por lo que, las curvas de la concentración de coagulante y pH, indican que a menor concentración del coagulante y mayor pH la concentración de hierro final es menor.

**Figura 14**

*Media de Fe con los Efectos*



#### 4.6. Resultados de los Parámetros del Proceso

Del resultado del proceso de coagulación y floculación, se obtiene de la tabla 12 los parámetros del proceso: la dosis de 25 mg/L de coagulante natural y pH de 7.4, el mayor porcentaje de remoción de hierro de 96.59%.

### **Conclusiones**

1. Se ha demostrado que la cáscara de plátano tiene capacidad de remoción de hierro de las aguas subterráneas del centro poblado del triunfo Madre de Dios, removiendo hierro de 13.47 a 0.46 mg/L.
2. Se ha evaluado que las variables de estudio que son el pH y dosis de concentración del coagulante natural son significativas en el proceso, que a menor concentración y mayor pH la remoción es mayor.
3. Se ha determinado que los parámetros del proceso son: pH de 7.4 y dosis del coagulante natural de 25 mg/L que ha esas condiciones resulta el mayor porcentaje de remoción de hierro del 96.59%.

### **Recomendaciones**

- Trabajar con granulometrías de la harina de cáscara de plátano menores al tamiz 40 o 425  $\mu\text{m}$  para tener mayor superficie de contacto.
- Utilizar como referencia para posteriores investigaciones, tratar el agua de pozos tubulares con alto contenido de hierro a pH mayores de 7.5 para reducir a un más la concentración del hierro después del tratamiento.
- Se recomienda utilizar el método espectrofotométrico para la determinación de Fe (II) basado en la medida del color rojo-naranja de su complejo con o-fenantrolina, con equipos que te den hasta 4 decimales de lectura.
- Utilizar permanganato de potasio como oxidante en vez del hipoclorito de calcio, aplicando el mismo proceso para la floculación y coagulación del hierro en el agua.

## Bibliografía

- Acciona. (2020). Recuperado el 18 de Febrero de 2022, de Acciona:  
[https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/?_adin=02021864894)
- Acoua Tecnología. (2022). Recuperado el 18 de Febrero de 2022, de Acoua Tecnología:  
<http://acuatecnologiaperu.com/works/filtracion-de-agua>
- ACUATECNICA S.A.S. (15 de ENERO de 2018). Características de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales.  
<https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). Plan nacional de recursos hídricos del Perú.  
Lima, Perú.
- Azabache, Y. F. (2017). "Efecto del Proceso de Coagulación Floculación, en la Remoción del Hierro (II), presente en las Aguas de la Quebrada Juningullo, Moyobamba". Tesis, Univerisdad Nacional de San Martín - Tarapoto, Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, Tarapoto. Consultado el 16 de Febrero de 2022.  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2821/DOCT.%20CIEN%20C.AMB.%20%20Yrwin%20Francisco%20Azabache%20Liza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Banchon, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación Natural para descontaminantes de efluentes industriales.  
doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Barreto Valtazar, H. L. (2016). Efecto de la dosificación de cal en la remción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón-La Libertad. (Tesis de Título

Profesional, Universidad Cesar Vallejo).

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/6627>

Bech Vertti, J. (2018). Estadística II. Mexico: Universidad Autónoma de

Aguascalientes.

[https://editorial.uaa.mx/catalogo/ccb\\_estadistica2\\_9786078285624.html](https://editorial.uaa.mx/catalogo/ccb_estadistica2_9786078285624.html)

Bernuy Cueva, L. J. (2020). Exportación de plátano var. Bellaco – Harton, a los

Ángeles, CA-USA, vía Puerto Callao (Tesis de Título Profesional, Universidad de San Martín de Porres). Repositorio Institucional. Obtenido de

[https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7255/bernuy\\_clj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7255/bernuy_clj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Bracho , M., Callejón, A., Ana , C., Hernández, & Morales , F. (2012). Evaluación de la cinética de precipitación del hierro y manganeso disueltos en agua subterránea utilizando aire o hipoclorito de sodio como oxidante.

doi:10.13140/2.1.4241.6000

CALCINOR. (2020). CALCINOR. Las funciones que realiza la cal en el tratamiento de aguas. Consultado el 10 de 12 de 2024.

<https://www.calcinor.com/es/actualidad/reviews-producto/cal-tratamiento-de-aguas>

Campos Pardo, H. S., & Porras Becerra, J. J. (2018). Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio

Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín. (Tesis de título,

UNSM. <http://hdl.handle.net/11458/3287>

- Canepa de Vargas , L. (2004). Tratamiento de aguas para consumo humano : plantas de filtración rápida. Manual I : teoría. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Carrasquero Ferrer, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marín Leal, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa ( *solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. Universidad Militar Nueva Granada , 13(2), 90-99. Doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Carreño, L., Caicedo, L., & Martínez. (2012). Técnicas de fermentación y aplicación de la celulosa bacteriana: una revisión. Ingeniería y ciencia. (8), 307-335. doi:10.17230/ingciencia.8.16.12
- Castañeda Gaviria, C. (2005). Movimiento browniano de partículas con volatilidad dependiente de la posición (Tesis de Física, Universidad de Los Andes). Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/22398>
- Caviedes Rubio, D. I., Muños Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Ingeniería y Región, 13(1), 73-90. <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/710>
- Cruz Coria, E., Velázquez Castro, J. A., & Briones Juárez, A. (2019). Formas, enfoques y tipos de investigación.
- EPS EMAPAT S.A. (2021). Informe de monitoreo de la calidad de agua para consumo humano y calidad de efluente de una PTAR. Puerto Maldonado, Madre de Dios.

- Facsa. (2022). Consultado el 18 de Febrero de 2022. <https://www.facsa.com/metales-pesados/#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%3F,METALES%20PESADO S%20EN%20EL%20AGUA%3F>
- Fibras y Normas Colombianas S.A.S. (2004). Coagulación y floculación: definición, tipos y factores. Colombia.
- Finer, M., Mamani, N., & Ariñez, A. (2023). Monitoring of the Andean Amazon Project. Recuperado el 4 de Agosto de 2024, de Monitoring of the Andean Amazon Project. <https://www.maaproject.org/2023/deforestacion-minera-2023-peru/>
- Gammara, F. (2014). Evaluación del uso de cáscaras de banano (*Musa paradisiaca sp.*) para la Descontaminación del Agua con Metales Pesados de la Cuenca de Milluni - La Paz". Tesis, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía - Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz - Boliva. Consultado el 16 de Febrero de 2022
- Gonzales Jimenez, A. E., & Guerra Moreno, J. C. (2016). Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y Zinc (Zn) con cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Trujillo. consultado el 18 de Febrero de 2022.  
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8756/GONZALES%20JIMENEZ%20ALEJANDRO%20EDER%3B%20GUERRA%20MORENO%20JULIO%20CESAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerra Atauje, M., & Polo Velezmoro, D. A. (2021). Uso del Plátano (*Musa Paradisiaca*) como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales del río

- Rímac en Matucana-2021 (Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo). Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84349>
- Gunt Hamburg. (2022). Tratamiento de agua procesos fisico-químicos .
- Hernández Lalinde , J. D. (2019). SOBRE EL USO ADECUADO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON: DEFINICIÓN, PROPIEDADES Y SUPOSICIONES. Colombia .
- La República. (2021). La República. Gastronomía. Consultado el 11 de 12 de 2024. <https://larepublica.pe/gastronomia/2021/11/25/las-6-variedades-de-platano-peruano-mas-consumidas-al-2021-evat>
- Lenntech. (2022). Recuperado el 18 de Febrero de 2022, de Lenntech: <https://www.lenntech.es/agua-subterranea/calidad.htm#:~:text=Calidad%20del%20agua%20subterr%C3%A1nea,de%20contaminantes%20t%C3%B3xicos%20y%20biol%C3%B3gicos.&text=Los%20en%20el%20agua%20pueden,y%20pueden%20tener%20efecto%20la xante.>
- López, H. D. (2020). Evaluación de la bioabsorción de cascara de banana (*Musa x paradisiaca*) para la remoción de plomo en aguas residuales de la lubricadora " Lubriautos Mafriss". Calceta, Ecuador.
- Lorenzo Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación - floculación. ICIDCA. Sobre derivados de la caña de azúcar, XL(2), 10-17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Margat, J., & Van Der Gun, J. (2013). Ground water around the world. Londres: CRC Press.
- Marin Burbano, L. (2011). Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava. Santiago de Cali.

- Ministerio del Ambiente. (2011). Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio. Lima: Súper Gráfica E.I.R.L.
- Monsalve Gil, J. F., Medina De Pérez, V. I., & Ruiz Colorado, Á. A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. 73(150), 21-27. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22305>
- Moreira R, L., Pilligua P, J., García M, S., Burgos B, G., García V, O., Briones P, G., & Prado S, J. (2022). Disminución de cromo y cobre en aguas residuales utilizando cáscara de naranja y banano (*citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) como bioadsorbente. Ecuador.
- Olmedo Flores, M. (2024). Parámetros que influyen en la determinación de la demanda de cloro a punto de quiebre. Universidad Nacional Autónoma de México. Chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgclclefindmkaj/<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000851952/3/0851952.pdf>
- Ordoñez Pineda, K. L., & Acosta Peñaloza, G. S. (2019). Caracterización Físico Química de los Residuos del Plátano y el Café para su posible uso como Materias Primas en la Fabricación del Papel. (Tesis de título profesional, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/24795>
- Ortega Gonzales, L. A. (2020). Elaboración y aplicación de un coagulante natural a partir de la cáscara de plátano en aguas del río Choqueyapu de la localidad de río abajo (Tesis de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés). Repositorio Institucional. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/29822>
- Ortiz Carvajal, M. F. (2020). Evaluación de la cáscara de plátano (ABB SIMMONDS) como coagulante natural para la clarificación de aguas. (Tesis de maestría,

- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito). Repositorio institucional.  
Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1276>
- Perry, R. H. (1994). Manual del ingeniero químico (6 ed.). MC Graw Hill.
- Prieto, L. (2019). Eficiencia de remoción de turbidez del agua del canal El Progreso mediante coagulación- floculación del almidón de plátano y yuca .
- Promor. (2022). Consultado el 18 de Febrero de 2022.  
<http://www.pramar.net/es/web/tratamiento-de-aguas/tecnologia-equipos/tamices>
- Pure Water. (2022). consultado el 18 de Febrero de 2022.  
<https://purewater.com.co/hierro-y-manganeso-en-el-agua/#:~:text=Hierro%20y%20la%20solubilidad%20de,en%20muchas%20formas%20qu%C3%ADmicas%20diferentes.&text=Una%20regla%20general%20es%20que,no%20permanece%20disuelto%20en%20agua.>
- Ramírez, Y. R. (2018). Aplicación de la cáscara del *Musa paradisiaca*, para la remoción de metales pesados (hierro, níquel y plomo) en el agua de consumo humano de las localidades de eslabón y mitucro-Independencia-Huaraz-Ancash, diciembre 2015-julio 2016.
- Ramos Galarza, C. (2021). Diseño de investigación experimental (Vol. 10). Ecuador.  
doi:<http://dx.doi.org/10.32210/ca.v10i1.356>
- Redrobán, A. (2014). Determinación del nivel de filtración que tiene la cáscara de plátano, para reducir metales pesados presentes en agua residual en la empresa weatherford, cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, periodo 2014.
- Serrano, J. (2020). Metodología de la Investigación. consultado el 06 de Enero de 2022
- Sierra, J., & Navarro, A. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante .

Willy, F., & Escobar, C. (2022). Consultado el 18 de Febrero de 2022.

[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal\\_ef/cap02.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf)

Yáñez, S. (2018). Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical. Memoria del Trabajo de Fin de Grado, Universidade da Coruña, Facultad de Ciencias. Consultado el 18 de Febrero de 2022.

[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente\\_Sandra\\_TFG\\_2018.pdf?sequence=1](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente_Sandra_TFG_2018.pdf?sequence=1)

## Anexos

## Anexo A

*Análisis Fisicoquímico del Resultado del Proceso*

Tabla 19

*Resultado del Proceso*

n° Etap a	n° Rép.	Concentració n (mg/L)	Turbieda d (NTU)	pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Fe Final (mg/L)
	1	25	7.35	6.32	24.8	254	8.30
	1	50	7.23	6.29	24.6	258	5.40
	1	75	9.08	6.30	24.5	256	6.70
	1	100	10.0	6.30	24.3	266	7.74
	1	125	11.3	6.28	24.2	265	8.76
	1	150	9.99	6.32	24.0	275	8.16
Etapa 1	2	25	3.84	6.27	27.4	258	3.89
	2	50	8.60	6.28	27.2	261	7.90
	2	75	9.87	6.28	27.3	266	10.85
	2	100	11.6	6.27	27.2	270	11.35
	2	125	11.4	6.28	27.3	274	10.70
	2	150	10.1	6.30	27.3	276	10.10
	3	25	4.96	6.31	27.0	260	3.79
	3	50	7.11	6.29	26.9	262	7.80
	3	75	10.4	6.28	27.0	264	10.35
	3	100	11.3	6.27	26.9	268	11.10
	3	125	11.7	6.27	26.8	274	10.45
	3	150	11.1	6.29	26.7	278	10.00
Etapa 2	1	25	3.05	6.74	24.6	353	1.73
	1	50	3.98	6.74	24.2	342	2.49
	1	75	4.21	6.72	24.1	343	2.80
	1	100	4.30	6.67	23.9	339	2.99
	1	125	4.34	6.72	23.7	347	3.01
	1	150	4.36	6.73	23.4	350	2.86
	2	25	2.35	6.74	26.9	363	1.45
	2	50	1.13	6.71	27.0	366	1.19
	2	75	1.96	6.72	26.9	368	1.29
	2	100	2.88	6.72	26.9	370	2.27
	2	125	2.18	6.73	26.9	374	1.43
	2	150	2.10	6.72	26.8	378	1.27
	3	25	2.65	6.74	26.8	362	1.46
	3	50	1.48	6.78	26.8	370	1.10
	3	75	2.24	6.77	26.8	375	1.39

	3	100	2.85	6.78	26.8	379	2.40
	3	125	2.53	6.79	26.9	387	1.38
	3	150	2.19	6.83	26.8	399	1.30
	1	25	2.54	7.41	24.0	381	0.81
	1	50	2.75	7.38	24.4	390	1.21
	1	75	2.73	7.40	24.2	398	1.19
	1	100	2.86	7.42	24.0	416	1.29
	1	125	2.78	7.41	24.2	407	1.20
	1	150	2.60	7.40	24.0	420	1.15
	2	25	1.23	7.38	27.1	411	0.27
	2	50	1.46	7.30	27.0	413	0.32
Etapa	2	75	1.68	7.32	27.0	417	0.44
3	2	100	1.71	7.32	27.0	419	0.47
	2	125	2.43	7.39	27.1	422	0.59
	2	150	1.40	7.27	27.1	425	0.46
	3	25	1.43	7.31	27.5	410	0.30
	3	50	1.62	7.35	27.2	413	0.39
	3	75	1.74	7.29	27.2	415	0.46
	3	100	2.02	7.29	27.3	417	0.48
	3	125	2.75	7.27	27.3	421	0.55
	3	150	1.57	7.33	27.4	428	0.43

## Anexo B

### Panel Fotográfico

#### Figura 15

#### Preparación de la Cáscara de Plátano



**Figura 17**

*Lavado y Molienda de la Cáscara de Plátano*

**Figura 16**

*Fotografía del Laboratorio de la PTAP El Triunfo*



**Figura 19**

*Toma de Muestras de los Pozos de la PTAP El Triunfo*

**Figura 18**

*Análisis Fisicoquímico de las Muestras de Agua Cruda*



**Figura 21**

*Preparación del Hipoclorito de Calcio en Solución*

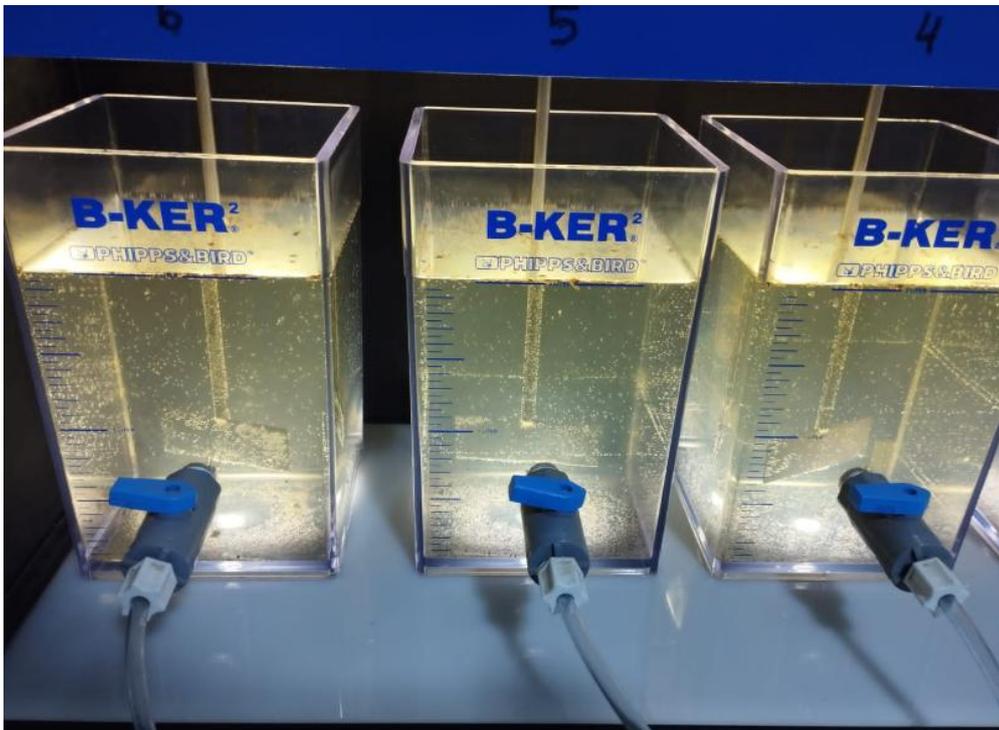
**Figura 20**

*Prueba de Jarras*

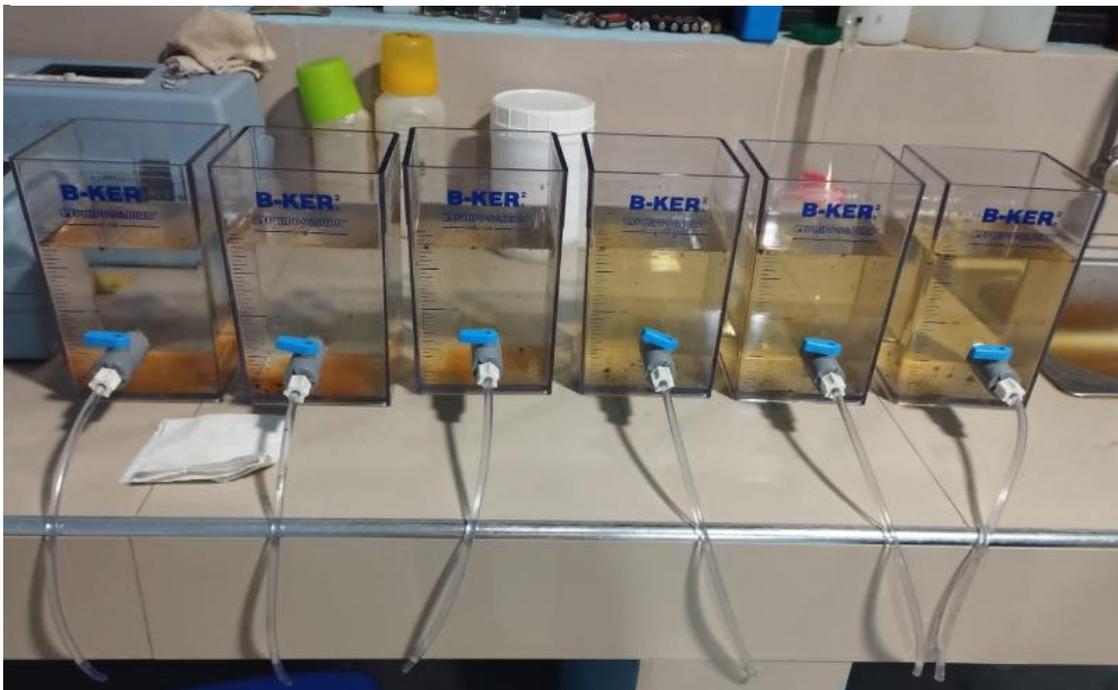


**Figura 23**

*Formación de Floccs*

**Figura 22**

*Finalización de la Prueba de Jarras*



**Figura 24**

*Análisis de los Resultado del Proceso*



## Apéndices

### Apéndice A

#### Caracterización del Agua de la PTAP El Triunfo

**Tabla 20**

#### Monitoreo de los Pozos de la PTAP El Triunfo

Parámetros	Unidad	Estaciones de monitoreo							DS N° 031-2010-DIGESA. Límites Máximo Permisibles (LMP)
		POZO N°1	POZO N°2	POZO N°3	POZO N°4	POZO N°5	POZO N°6	A.POT.	
Potencial de hidrogeno (pH)	Unid. pH	9.62	7.88	6.21	7.68	9.46	9.15	9.51	6,5 – 8,5
Conductividad (C.E)	µmho/cm	1511	370	254	272	1422	1374	1177	1500
Color (color verdadero)	CU	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	15
Turbiedad	mg/L	0,70	0,80	0,35	0,30	1,50	1,50	3,40	5
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/L	724	152	283	112	687	663	568	1000
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	-
Cloruros	mg/L	11,1	6,4	4,5	8,2	9,9	10,3	14,7	250
Sulfatos	mg/L	124,8	15,7	12,0	8,3	104,8	105,2	85,4	250
Dureza total	mg/L	29	47	65	55	33	29	37	500
Plata	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-
Aluminio	mg/L	0,332	0,089	<0,005	0,159	0,109	0,142	0,093	0,2
Arsénico	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Boro	mg/L	0,688	0,299	<0,002	0,465	0,786	0,840	0,849	1,5
Bario	mg/L	0,1338	0,1111	0,1020	0,1243	0,1719	0,1904	0,1431	0,7
Berilio	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-
Cadmio	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,003
Cobalto	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-
Calcio	mg/L	18,058	20,753	18,024	18,725	15,327	14,483	18,179	-
Cerio	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-
Cromo	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-
Cobre	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	2
Hierro	mg/L	0,124	0,485	14,529	0,369	0,162	0,152	0,703	0,3
Litio	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-
Magnesio	mg/L	5,564	9,419	9,036	9,387	4,868	4,862	6,027	-
Manganeso	mg/L	0,0682	0,7370	0,5549	0,7108	0,0455	0,0543	0,0670	0,4
Molibdeno	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,0012	0,0012	0,0010	-
Niquel	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,02
Fósforo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Plomo	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,003	0,01
Potasio	mg/L	1,36	1,20	1,12	1,23	1,44	1,66	1,33	-
Antimonio	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,02
Selenio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Silice	mg/L	<0,001	<0,001	44,091	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-
Sodio	mg/L	292,871	37,483	34,100	17,429	269,056	269,199	213,751	-
Estaño	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-
Estroncio	mg/L	0,12880	0,13490	0,12980	0,11740	0,11800	0,11850	0,12170	-
Titanio	mg/L	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	-
Talio	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	-
Vanadio	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-
Zinc	mg/L	0,0917	0,0171	0,0094	0,0230	0,0213	0,0158	0,0090	3
Bismuto	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	-
Uranio	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,015
Mercurio total	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01
Alcalinidad total	mg/L	567	114	108	74	572	522	435	-
Nitratos	mg/L	<0,02	0,88	0,56	3,12	<0,02	2,16	2,39	50
Nitritos	mg/L	0,42	0,13	<0,02	0,13	0,42	0,41	0,40	3
Coliformes totales	UFC /100mL	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	5	<1,0	<1,0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC /100mL	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	4	<1,0	<1,0	0

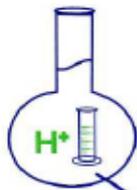
## Apéndice B

### Ubicación de los Pozos de la PTAP El Triunfo



## Apéndice C

Análisis del Pozo 1 - 2022



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### INFORME N°LQ 0565-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

**SOLICITA** :

**PROYECTO** : "Coagulación de Hierro con Cascara de Plátano"

**MUESTRA** : M<sub>1</sub>: Pozo N°01 (ZONA 19S/ E: 481457/ N: 8608803/ Altitud: 198m.s.n.m)

**DISTRITO** : Las Piedras

**PROVINCIA** : Tambopata

**DEPARTAMENTO** : Madre de Dios

**FECHA DE INFORME** : 12/10/2022

**RESULTADOS** :

DETERMINACION	UNIDAD	M <sub>1</sub>
Temperatura	°C	19.7
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1208
pH		7.6
Turbiedad	NTU	13.6
Hierro	mg/L	0.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:**

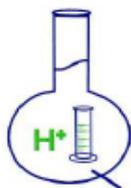
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188

## Apéndice D

Análisis del Pozo 2 - 2022



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N° LQ 0566-22**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA**

SOLICITA : Josué Catalán Ovalle

PROYECTO : "Coagulación de Hierro con Cascara de Plátano"

MUESTRA : M<sub>2</sub>: Pozo N°02 (ZONA 19S/ E: 481483/ N: 8608813/ Altitud: 19m.s.n.m)

DISTRITO : Las Piedras

PROVINCIA : Tambopata

DEPARTAMENTO : Madre de Dios

FECHA DE INFORME : 12/10/2022

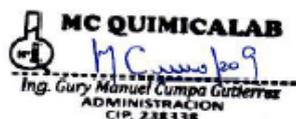
RESULTADOS :

DETERMINACION	UNIDAD	M <sub>2</sub>
Temperatura	°C	19.6
Conductividad Eléctrica	µS/cm	240
pH		6.7
Turbiedad	NTU	17.1
Hierro	mg/L	7.0

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:**

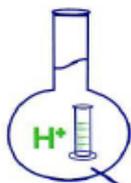
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16108

## Apéndice E

### Análisis del Pozo 3 - 2022



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### INFORME N°LQ 0567-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

SOLICITA :

PROYECTO : "Coagulación de Hierro con Cascara de Plátano"

MUESTRA : M<sub>3</sub>: Pozo N°03 (ZONA 19S/ E: 481446/ N: 8608811/ Altitud: 197m.s.n.m)

DISTRITO : Las Piedras

PROVINCIA : Tambopata

DEPARTAMENTO : Madre de Dios

FECHA DE INFORME : 12/10/2022

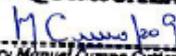
RESULTADOS :

DETERMINACION	UNIDAD	M <sub>3</sub>
Temperatura	°C	19.6
Conductividad Eléctrica	µS/cm	299
pH		6.8
Turbiedad	NTU	34.8
Hierro	mg/L	7.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:**

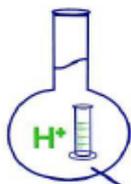
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

**MC QUIMICALAB**  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACION  
 CIP. 238338

  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186

## Apéndice F

Análisis del Pozo 4 - 2022



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N° LQ 0567-22**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA**

SOLICITA :

PROYECTO : "Coagulación de Hierro con Cascara de Plátano"

MUESTRA : M<sub>3</sub>: Pozo N°03 (ZONA 19S/ E: 481446/ N: 8608811/ Altitud: 197m.s.n.m)

DISTRITO : Las Piedras

PROVINCIA : Tambopata

DEPARTAMENTO : Madre de Dios

FECHA DE INFORME : 12/10/2022

RESULTADOS :

DETERMINACION	UNIDAD	M <sub>3</sub>
Temperatura	°C	19.6
Conductividad Eléctrica	µS/cm	299
pH		6.8
Turbiedad	NTU	34.8
Hierro	mg/L	7.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:**

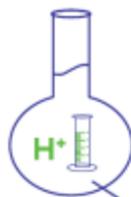
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

**MC QUIMICALAB**  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACIÓN  
 CIP. 228338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18108

## Apéndice G

### Análisis del pozo 2 - 2024



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

### INFORME N°LQ 0526-24 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

SOLICITA : PAOLO RICARDO CALCINE AYALA

PROYECTO : "COAGULACIÓN DE HIERRO CON CÁSCARA DE PLÁTANO"

MUESTRA : M<sub>1</sub>.- POZO N°02.  
 LOCALIDAD : CPM "EL TRIUNFO"  
 DISTRITO : LAS PIEDRAS.  
 PROVINCIA : TAMBOPATA.  
 DEPARTAMENTO : MADRE DE DIOS.  
 FECHA DE INFORME : 09/09/2024

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>
pH		6.4
Conductividad Eléctrica	μS/cm	250
Turbiedad	NTU	20.2
Hierro	mg/L	8.40
Temperatura	°C	18.3

**MÉTODO DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:**

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez  
 INGENIERO QUÍMICO  
 CIP 234338

## Apéndice H

### Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

#### ANEXO II LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	$\text{mg L}^{-1}$	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-2} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoniaco	$\text{mg N L}^{-1}$	1,5
12. Hierro	$\text{mg Fe L}^{-1}$	0,3
13. Manganeseo	$\text{mg Mn L}^{-1}$	0,4
14. Aluminio	$\text{mg Al L}^{-1}$	0,2
15. Cobre	$\text{mg Cu L}^{-1}$	2,0
16. Zinc	$\text{mg Zn L}^{-1}$	3,0
17. Sodio	$\text{mg Na L}^{-1}$	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



## Apéndice I

### Hoja de Seguridad Cal Hidratada

 Minerales & Derivados Sudamericana S.A.C. 	
<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	
	
<b>SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN.</b>	
<b>1.1 Marcas registradas sinónimas:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIDRO CAL (Hidróxido de Calcio al 94 - 98 %)</li> </ul>	
<b>Forma física:</b>	Polvo fino (> 80% pasa por malla 200).
<b>Presentación:</b>	Sacos de Polipropileno laminado con funda de polietileno x 25 Kg.
<b>Nombre químico y sinónimos:</b>	hidróxido de calcio, cal hidratada, cal apagada
<b>Fórmula molecular:</b>	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
<b>Formulación:</b>	Polvo Mojable
<b>1.2 Fabricante:</b>	Minerales & Derivados Sudamericana S.A.C.
<b>1.3 Emergencias:</b>	Tel. 930872013 - 964633182
<b>SECCIÓN 2. COMPOSICIÓN.</b>	
<b>2.1 Mayor elemento:</b>	Pureza $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disponible 95.23 %
<b>2.2 Otros elementos:</b>	Carbonato de Calcio no calcinado 0.10 % Agua: 2.67 %
	
Av. Ramón Castilla Nº 251. Tarma - Junín Teléf.: 930872013 E- Mail: agrominerapacifico@hotmail.com	

## Apéndice J

### Hoja de Seguridad del Hipoclorito de Calcio 65%

#### Ficha datos de Seguridad



Intervención:

P210 Mantener alejado de fuentes de calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto. No fumar  
 P220 Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles  
 P260 No respirar polvos o nieblas  
 P270 No comer, beber o fumar mientras se manipula este producto  
 P273 No dispersar en el medio ambiente  
 P280 Llevar guantes / ropa de protección / equipo de protección para los ojos / la cara

P391 Recoger los vertidos

Otros peligros:

P301 + P330 + P331 SI ES INGERIDO: enjuagar la boca. NO inducir el vómito.  
 P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.  
 P303 + P361 + P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL o el pelo: Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua o ducharse

EUH031 En contacto con ácidos libera gases tóxicos.

#### Sección 3: Composición / información sobre los componentes

##### 3.1 Sustancia

Fórmula	Ca(OCl) <sub>2</sub>
Nombre común o sinónimos	Cloro Granulado al 65% - Cloro Granulado al 68%, hipoclorito cálcico
No. CE	231-908-7
Masa molar	142,98 g/mol

Composición	% peso	No. CAS / No. UN
Hipoclorito de Calcio	65 % Mn.	7778-54-3 / 2880

3.2 Mezcla  
No aplicable