



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Evaluación de la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando coagulantes naturales obtenidos de la papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química

AUTORES

Jhanela Yhaniré QUISPE ZEGARRA

Edith Carol SUCAPUCA ESPIRITU

ASESOR

Fernando ANAYA MELÉNDEZ

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Quispe, J. & Sucapuca, E. (2024). *Evaluación de la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando coagulantes naturales obtenidos de la papa (Solanum tuberosum) y yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Jhanela Yhaniré Quispe Zegarra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73111436
URL de ORCID	
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Edith Carol Sucapuca Espiritu
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75464857
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Fernando Anaya Meléndez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06550807
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3131-3961
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mercedes Puca Pacheco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09610017

Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Manuel Jesús Luna Hernández
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06897800
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.1. Remediación de agua, aire y suelo
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	No aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Química e Ingeniería Química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.0603733 Longitud: -77.0836999
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "III Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-II", bajo la Presidencia de la **Dra. MERCEDES PUCA PACHECO**; **Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ** (Miembro) y el **Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ** (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la **TESIS**, titulada **Evaluación de la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando coagulantes naturales obtenidos de la papa (*Solanum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*)**, **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por la bachiller en Ingeniería Química: **QUISPE ZEGARRA, JHANELA YHANIRÉ** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA QUÍMICA**, acordaron calificarla con la **NOTA** de:

CATORCE

(LETRAS)

14

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre del 2024

Dra. MERCEDES PUCA PACHECO
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ
Asesor

Dr. RUBÉN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 649-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "III Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-II", bajo la Presidencia de la **Dra. MERCEDES PUCA PACHECO**; **Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ (Miembro)** y el **Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ (Asesor)**; habiendo presentado para tal efecto la **TESIS**, titulada **Evaluación de la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando coagulantes naturales obtenidos de la papa (*Solanum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*)**, **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por la bachiller en Ingeniería Química: **SUCAPUCA ESPIRITU, EDITH CAROL** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERA QUIMICA**, acordaron calificarla con la **NOTA** de:

CATORCE

(LETRAS)

14

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre del 2024

Dra. MERCEDES PUCA PACHECO
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ
Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, ANAYA MELÉNDEZ FERNANDO en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000027-2025-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es **EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) UTILIZANDO COAGULANTES NATURALES OBTENIDOS DE LA PAPA (*Solanum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot esculenta*)**, presentado por las bachilleres: Quispe Zegarra Jhanela Yhaniré y Sucapuca Espiritu Edith Carol para optar el título Profesional de Ingeniería Química, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 17% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 24 de abril de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Anaya Melendez Fernando

DNI: 003271

DEDICATORIA

A mi madre, por su soporte constante en cada paso dentro del mundo académico, por confiar en mi capacidad para lograr grandes cosas.

A mi padre, por su apoyo en la culminación de mis estudios.

A mi hermano Alex, por contagiar siempre su alegría aun en momentos en los que sentía que no podía.

A mi abuelita, quién siempre creyó en mí y aunque ya no se encuentre en este mundo terrenal me transmite que se encuentra conmigo guiándome día a día en la mejor toma de decisiones.

A mi tía Lidia, por brindar un gran soporte y así lograr muchos de mis objetivos.

Con profundo agradecimiento, dedico la tesis a todos ustedes

Jhanela Quispe Zegarra

A mi madre, por su apoyo incondicional durante toda mi etapa académica, por su guía durante todo el proceso.

A mi padre, por su confianza en mi persona.

A mi hermana, por sus risas y ocurrencias durante las noches difíciles de preparación y estudios

A mi abuelita por ser mi segunda madre y siempre apoyarme en todo momento.

Dedico la tesis a todos ustedes.

Edith Sucapuca

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Importancia y alcance de la investigación	3
1.5. Justificación	4
1.6. Limitaciones de la investigación	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Marco teórico	6
2.1.1. Coagulantes	6
2.1.2. Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	8
2.1.3. Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	10
2.1.4. Almidón	11
2.1.5. Propiedades de Almidón	14
2.1.6. Aguas residuales	15
2.1.7. Sustancias contaminantes presentes en el agua	16
2.1.7.1. Coloides	16
2.1.7.2. Sólidos disueltos	16
2.1.8. Parámetros fisicoquímicos que indican la calidad del agua	16
2.1.8.1. Turbiedad	16
2.1.8.2. Sólidos	17
2.1.9. Clarificación de aguas	19
2.1.9.1 Coagulación	19
2.1.9.2 Floculación	20
2.1.9.3 Sedimentación	20
2.2. Antecedentes	21
2.2.1. Antecedentes internacionales	21
2.2.2. Antecedentes nacionales	23
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	24
3.1. Hipótesis	24
3.2. Hipótesis derivada	24
3.4. Operacionalización de variables	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1. Área de estudio	26
4.2. Diseño de la investigación	26

4.3. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	27
4.3.1. Equipos y materiales:	27
4.3.2. Técnicas de recolección de información:	28
4.3.3. Procedimiento de recolección de información:	31
4.3.3.1. Obtención del almidón:	31
4.3.3.2. Preparación de la muestra de agua sintética	32
4.3.3.3. Preparación de solución madre del coagulante/floculante	33
4.3.3.4. Prueba de Jarras.....	33
4.3.3.5. Remoción de Sólidos suspendidos totales	34
4.4. Análisis estadístico.....	35
4.4.1. Técnica de comprobación de la hipótesis	37
V. RESULTADOS	38
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
7.1. Conclusiones:	53
7.2. Recomendaciones:	53
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
IX. ANEXOS	56
ANEXO 1: Matriz de consistencia	56
ANEXO 2: Panel fotográfico	57
ANEXO 3: Programa estadístico	62

Índice de Figuras

Figura 1: Composición química de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	9
Figura 2: Composición química de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	10
Figura 3: Composición del almidón de papa:	12
Figura 4: Estructura de molécula de amilosa.....	13
Figura 5: Estructura de molécula de amilopectina	14
Figura 6: Equipo turbidímetro.	17
Figura 7: Mecanismo de funcionamiento de los flocculantes o polímeros:	21
Figura 8: Esquema de la metodología aplicada	26
Figura 9: Procedimiento para obtener la muestra de almidón de papa / yuca	32

Índice de gráficas

Gráfica 1: SST luego del tratamiento con una dosis de 200 ppm.....	40
Gráfica 2: SST luego del tratamiento con una dosis de 300 ppm.....	40
Gráfica 3: SST luego del tratamiento con una dosis de 400 ppm.....	41
Gráfica 4: SST luego del tratamiento con una dosis de 500 ppm.....	41
Gráfica 5: Resumen de procesamiento de casos para la papa	42
Gráfica 6: Valores descriptivos para la papa	43
Gráfica 7: Pruebas de normalidad para la papa	43
Gráfica 8: Resultados prueba T-Student para la papa	44
Gráfica 9: SST luego del tratamiento con una dosis de 200 ppm.....	46
Gráfica 10: SST luego del tratamiento con una dosis de 300 ppm.....	46
Gráfica 11: SST luego del tratamiento con una dosis de 400 ppm.....	47
Gráfica 12: SST luego del tratamiento con una dosis de 500 ppm.....	47
Gráfica 13: Resumen de procesamiento de casos para la yuca	48
Gráfica 14: Valores descriptivos para la yuca	48
Gráfica 15: Pruebas de normalidad para la yuca	49
Gráfica 16: Resultados prueba T-Student para la yuca	50

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación	19
Tabla 2 : Parámetros a analizar.....	28
Tabla 3: Cantidad de análisis a realizar por cada dosificación de coagulante.....	34
Tabla 4 : Resultados del análisis de la muestra de agua sintética.	38
Tabla 5 : Concentración de los coagulantes de cáscara de papa y yuca.	39
Tabla 6: Resultados de %Remoción de SST obtenido con coagulante de cáscara de papa	39
Tabla 7: Resultados de %Remoción de SST obtenido con coagulante de cáscara de yuca	45

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Cantidad de Sólidos suspendidos totales	35
Ecuación 2: % de Remoción.....	35
Ecuación 3: Media aritmética	36
Ecuación 4: Varianza.....	36
Ecuación 5: Desviación estándar	37
Ecuación 6: Coeficiente de variación	37
Ecuación 7: Confiabilidad	37

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando como coagulante natural cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), en una muestra de agua sintética. La obtención de los coagulantes se realizó mediante un proceso de lavado, cortado, secado, triturado, tamizado y almacenado. Se procedió a la extracción del coagulante con agua hervida en una plancha de calentamiento durante 20 min a 120°C, luego se filtró la solución para separar los sólidos remanentes, donde la solución preparada fue de 10%p/v. Las características de la arcilla comercial roja utilizada para preparar la muestra de agua sintética, son: 62.5 % de humedad y 7.15 de pH. Se preparó una solución de 0.5 %p/v 500 ppm(mg/l), de agua sintética, el pH inicial de la muestra de agua resultó 7.32, que indica una muestra de agua neutra, la cantidad de SST resultó 495 ppm. Para el tratamiento del agua sintética se utilizó la Prueba de Jarras, donde se aprecian los procesos de coagulación, floculación y sedimentación; se preparó 2 soluciones madre (5g/500ml) para el coagulante de papa y yuca. Se tomaron alícuotas de 10, 15, 20 y 25 ml, para tener 200, 300, 400 y 500 mg/l de extracto de almidón. Para la prueba de jarras, se trabajó a 200, 250 y 300 RPM de agitación rápida, durante un tiempo (coagulación – floculación) de 20 min, agitación lenta de 15 min, posteriormente se dejó en reposo para la sedimentación por 30min. Los resultados muestran que a 300RPM y una concentración de 500ppm de coagulante (papa y yuca) se obtiene un mayor % en la remoción de SST

Palabras clave: Coagulante, Almidón, tratamiento de aguas, papa, yuca

ABSTRACT

The objective of this research work is to evaluate the removal of total suspended solids (TSS) using potato peel (*Solanum tuberosum*) and yucca peel (*Manihot esculenta*) as natural coagulants, in a synthetic water sample. The coagulants were obtained through a process of washing, cutting, drying, grinding, sieving and storing. To know the amount of starch present in the shell, a 10% w/v solution was prepared and heated to 65°C. for 2 hours with constant stirring, vacuum filtration and drying, obtaining the amount of insoluble present in the initial starch solution by weight difference, where it is confirmed that the potato and yucca peel have the capacity to remove total suspended solids. To prepare synthetic water, a red commercial clay was used; characterization analyzes were carried out where it contains 62.5% humidity, 7.15 pH; A solution of 0.25 %w/v of synthetic water was prepared, the initial pH of the sample was 7.32, which indicates a neutral water sample, the amount of TSS was 495 mg/L. For the treatment of synthetic water, the Jar Test was used, where the coagulation, flocculation and sedimentation processes are seen; Two stock solutions of 10,000 ppm were prepared for the potato and cassava coagulant, aliquots 10, 15, 20 and 25 ml were taken, to have a concentration of 200, 300, 400 and 500 ppm of coagulant, worked at 200, 250 and 300 RPM, for a contact time (coagulation – flocculation) of 20 min and sedimentation of 30 min. The results show that at 300RPM and a concentration of 500 ppm a higher % of TSS removal is obtained.

Key words: Coagulant, starch, water treatment, potato, yuca

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El ciclo hidrológico comprende de 5 etapas fundamentales: Evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía. Esta última consiste en los flujos de agua provenientes de las lluvias que fluyen sobre la superficie de un terreno, uno de los efectos causados por la escorrentía es la erosión de los suelos, que resulta en partículas disgregadas que se depositan en zonas como ríos o arroyos. Ante la presencia de suelos de tipo arcilloso, este componente será arrastrado a los cuerpos de agua, lo cual resulta en ríos con gran contenido de arcillas, especialmente en tiempos de lluvia. (Peña,2012)

Los recursos hídricos son expuestos a contaminación física, química y biológica, por ello las medidas a tomar para descontaminar los efluentes resultan cada vez más urgentes buscando constantemente nuevas alternativas para garantizar su calidad. En los países en desarrollo, cada año ocurren millones de muertes infantiles como consecuencia de la contaminación de aguas, por lo cual es requerido contar con tratamientos efectivos de clarificación, desinfección y acondicionamiento organoléptico. La clarificación resulta una técnica que permite que las aguas alcancen las características físicas y organolépticas requeridas de acuerdo con las normas de salud pública (Ramírez, 2015)

Una de las alternativas más estudiadas en la clarificación de aguas es el uso de extractos naturales de plantas aplicados a la clarificación de aguas, especies como *Moringa oleifera*, *Aloe vera*, semillas de durazno, semillas de habas vienen siendo investigadas en distintas composiciones de aguas y esta lista cada vez es mayor, surgiendo como una alternativa adicional a los coagulantes inorgánicos, los cuales en muchos casos generan afectaciones a la salud humana, como la posible aparición de enfermedades neurodegenerativas. (Barreto, 2019). El estudio de la yuca como un biocoagulante ha logrado buenos resultados en el tratamiento de aguas, por ello resulta una gran opción para disminuir el uso de coagulantes químicos (Romero,2019). Por su parte, según investigaciones previas, la cáscara de papa ha logrado un 97% de remoción usando una dosis de 50mg/L (Romero, 2019)

1.2. Planteamiento del problema

En Perú, el sistema de potabilización y alcantarillado es insuficiente, 3.4 millones de personas no cuentan con acceso a servicios hídricos, por otro lado, 8 millones de personas no cuentan con acceso a servicios de alcantarillado (Servindi, 2020).

En las zonas rurales del país la situación resulta más alarmante pues cerca del 66% de la población aún no tiene agua potable. (Momi F.2020), cabe resaltar que estas zonas se desenvuelven en la agricultura y ganadería, actividades que requieren el empleo del agua potable. Producto de las escorrentías se arrastran agentes que contaminan los ríos, ocasionando un más complejo tratamiento del recurso. Dentro de los principales contaminantes del agua se encuentran los sólidos suspendidos totales que son los responsables de la turbidez y del color, los cuales afectan a la salud humana.

Para tal caso la utilización de coagulante químicos presenta desventajas, tales como, los altos costos de adquisición, el efecto significativo que tienen en el pH del agua tratada. Adicionalmente, el sulfato de aluminio, el coagulante químico más utilizado en la potabilización de aguas presenta evidencias de que debido a la existencia de aluminio residual en el agua tratada, ocasiona el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos. (Guzmán, L.2013). Ante estas desventajas surge la alternativa de los coagulantes naturales como una opción adicional, estos representan un menor costo para el tratamiento, ser fácilmente obtenibles, además de ser amigables con el medio ambiente, pues son biodegradables. A pesar de estas ventajas, el nivel de aceptación de coagulantes naturales para el tratamiento de agua y aguas residuales hasta ahora se ha mantenido bajo (Ang & Mohammad, 2020). Esto es principalmente debido a la falta de confianza industrial en la adopción de recursos naturales coagulantes debido a preocupaciones sobre la eficiencia y consistencia de estos coagulantes cuando se utilizan para el tratamiento de agua a gran escala.

Existe una amplia gama de posibles coagulantes naturales que aún no son estudiados o cuyo énfasis en su estudio aún no ha sido muy profundo en los diferentes tipos de aguas a tratar, ante ello se plantea como alternativa la cáscara de papa y cáscara de yuca en base a las características que presentan y las que cuentan las aguas arcillosas analizadas.

1.2.1. Formulación del problema

a. Problema general:

- ¿De qué manera los coagulantes naturales van a tener la capacidad de remover la cantidad de solidos suspendidos totales en la muestra de agua sintética?

b. Problemas específicos:

- ¿Cuál será la concentración de la solución madre de coagulante a preparar?
- ¿Cuál es la mejor dosis evaluada de coagulante de cáscara de papa y yuca que permite remover los SST en la muestra de agua sintética?
- ¿Cuál será el coagulante que presentará una mayor remoción de sólidos suspendidos totales?

1.3. Objetivos

a. Objetivo general

- Evaluar la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando los coagulantes naturales obtenidos a partir de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*).

b. Objetivos específicos

- Preparar la solución madre de coagulante natural de las cáscaras de papa y yuca.
- Evaluar la remoción de SST utilizando el coagulante natural, mediante la Prueba de Jarras.
- Aplicar el Programa IBM SPSS Statistics como herramienta estadística para evaluar los resultados experimentales de las pruebas de remoción de SST.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

El impacto ambiental de la investigación radica en cumplir con los valores máximos admisibles (VMA) los cuales caracterizan a un efluente, el cual al ser descargado no debe exceder el VMA, ya que generaría un impacto negativo al ambiente, así mismo evaluar

los Estándares de Calidad Ambiental (ECA'S) de agua a fin de simular la muestra de agua sintética como una muestra de río que se puede potabilizar.

El uso de coagulantes derivados de fuentes naturales emerge como una solución prometedora en el tratamiento de aguas. Estos compuestos no solo compiten en eficiencia con los coagulantes sintéticos convencionales, sino que además ofrecen la ventaja adicional de ser biodegradables, alineándose con los principios de sustentabilidad ambiental.

Las investigaciones sobre tratamiento de aguas han explorado el potencial de componentes naturales como el almidón y la celulosa. Estos elementos, al ser estudiados en procesos de coagulación-floculación, han mostrado efectividad para eliminar tanto partículas suspendidas como coloidales. Un aspecto destacable, según Shogren (2009), es que estos compuestos y sus productos derivados no solo son biodegradables, sino que además sus procesos de degradación resultan inocuos para el ecosistema y la salud humana.

El impacto económico de la presente investigación está orientada a reducir los costos asociados a la protección ambiental, así como prevenir el costo adicional por las cargas contaminantes descargadas al ambiente los cuales superen los VMA para aguas residuales domésticas y no domésticas. Esta propuesta pretende introducir 2 coagulantes naturales que en un futuro puedan sustituir a los coagulantes químicos, que si bien son muy masificados, cuentan con inconvenientes que lamentablemente aún no han llegado a ser desplazados.

1.5. Justificación

Los ríos que recorren Lima resultan afectados por las descargas provenientes de diversas industrias, actividades agrícolas y domésticas, entre otros.

Una forma de reducir esos impactos es tratar los efluentes, por lo cual el empleo de coagulantes es de carácter fundamental, debido a que involucra bajos costos de implementación a la empresa, así como una eficiencia en los resultados.

El proceso de potabilización del agua, específicamente en la eliminación de turbidez y sólidos suspendidos totales, ha estado dominado por compuestos químicos desde 1960. Trejo y Hernández (2004) documentan que los coagulantes más empleados en este campo son el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el cloruro férrico $FeCl_3$, como también lo confirma Barrenechea (2004) en sus investigaciones.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes relacionados al uso de estos coagulantes, como los elevados costos de adquisición, producción de grandes cantidades de lodo además que afectan significativamente el pH del agua tratada (Guzman , Villabona, Tejada & Garcia, 2013).

La búsqueda de coagulantes naturales ha llevado al estudio de diversas especies vegetales. Destacan las investigaciones de Oliver (2014) sobre la Tuna (*Opuntia cochinellifera*) y los análisis del Quitosano por Díaz, Lino y Huaytalla (2018). En el territorio peruano, sobresalen dos variedades de papa: la criolla (*Solanum phureja*) y la nativa (*Solanum tuberosum*), cuyas características principales incluyen alto contenido de almidón, ausencia de toxicidad y fácil acceso regional. De manera similar, la yuca ha captado especial atención en el sector industrial debido a su riqueza en almidón, convirtiéndola en foco de numerosas investigaciones.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación fue realizada a escala laboratorio, lo cual podría no evidenciar en su totalidad lo presenciado a escala industrial pero sí brinda un gran alcance respecto a su comportamiento y sienta bases para estudios posteriores respecto a los cuales naturales mencionados.

La prueba de jarras utilizado se realizó a las siguientes condiciones: velocidad de agitación máxima proporcionada por el equipo de 300 rpm, lo cual no permitió realizar un análisis más amplio respecto al comportamiento de los coagulantes naturales frente a mayores velocidades de agitación, sin embargo, las velocidades analizadas han permitido evaluar una tendencia de datos.

Se contó con un limitado equipamiento de instrumentos de laboratorio para poder realizar las pruebas respectivas.

Se omitió realizar análisis adicionales como turbidez, color, DBO o DQO a la muestra de agua analizada ya que se trataba de una muestra de agua que fue preparada previamente, además de contar con la limitante de disposición de un turbidímetro, por ello se optó por el método gravimétrico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Coagulantes

2.1.1.1. Coagulante natural

Los coagulantes de origen natural provienen de diversas partes de plantas y árboles, incluyendo semillas, hojas, cortezas, raíces y frutos. Asrafuzzaman et al. (2011) documentan que estas sustancias naturales han sido empleadas durante más de cuatro milenios en regiones de India, África y China, demostrando su eficacia en el tratamiento de aguas altamente turbias, especialmente en zonas rurales. La flora local ha sido fundamental en estas prácticas tradicionales. Šcíban et al. (2005) describen el uso de diferentes especies autóctonas, entre las que destacan las semillas del árbol nirmali (*Strychnos potatorum*), el maíz tostado (*Zea mays*) y los extractos del cactus *Opuntia ficus*. Según Guzmán et al. (2013), estos coagulantes naturales presentan una versatilidad notable en el tratamiento de aguas. Pueden emplearse de manera independiente o como complemento de productos químicos convencionales, cumpliendo múltiples funciones: reducción de turbidez, eliminación de microorganismos, ablandamiento de aguas y mejora en el acondicionamiento de lodos. Las características distintivas de los polímeros de origen natural los hacen particularmente valiosos en diversos procesos. Su estructura molecular compleja les confiere una notable capacidad de gelificación, pudiendo incrementar su peso hasta en un 80% mediante hidratación. Estos compuestos destacan por su capacidad de formar complejos, una propiedad que facilita la captura efectiva de iones metálicos en solución. A diferencia de sus contrapartes sintéticas, estos polímeros se caracterizan por su elevado potencial de biodegradación, lo que representa una ventaja significativa desde la perspectiva ambiental. Su baja toxicidad constituye otro beneficio fundamental, razón por la cual encuentran amplia aplicación no solo en tratamiento de aguas, sino también como componentes seguros en la industria alimentaria y como aditivos en diversas formulaciones comerciales.

El almidón, como polímero natural, representa una alternativa prometedora en los procesos de coagulación y floculación. Su capacidad para eliminar partículas coloidales y suspendidas, junto con su naturaleza biodegradable, lo posiciona como una opción sustentable. Shogren (2009) destaca que los productos de su degradación son inocuos tanto para la salud humana como para el ecosistema. Las fuentes más significativas de este compuesto se encuentran principalmente en tubérculos como la yuca y la papa, así como en cereales, específicamente el maíz.

2.1.1.2.Coagulante sintético

Los coagulantes sintéticos o también llamados inorgánicos más comúnmente usados son las sales férricas y sales de aluminio, tales como sulfato férrico, sulfato de aluminio, también conocido como alumbre, cloruro férrico, policloruro de aluminio, también usado, aunque en menor proporción el hidróxido de calcio, el cual se ha visto limitado por resultados menos favorables a los mencionados inicialmente. (Tejeda, 2019)

La eficacia del sulfato férrico en el tratamiento de aguas se fundamenta en dos características principales: su adaptabilidad a diferentes condiciones de pH y su rápida acción coagulante-floculante. Este compuesto, al dosificarse correctamente, demuestra una notable capacidad para reducir los niveles de turbidez y color en el agua tratada. Cabrera (2014) establece una comparación crucial entre coagulantes: mientras el sulfato de aluminio mantiene las características cromáticas del agua incluso en casos de sobredosificación, el sulfato férrico puede alterar su coloración en situaciones similares. Sin embargo, el uso del sulfato de aluminio presenta una limitación significativa debido a sus efectos adversos para la salud humana.

Existen factores importantes para lograr una correcta coagulación, los cuales son:

- **Capacidad de cambio**

La eficacia del proceso radica en el reemplazo de cationes: aquellos con valencia más alta desplazan a los de menor valencia. Como señala Cabrera (2014), esta sustitución cataliza tanto la desestabilización como la subsecuente aglomeración de las partículas.

- **Tamaño de las partículas**

El tamaño de las partículas juega un papel crucial en la formación del floc. De acuerdo con Cabrera (2014), existe una relación directa entre el diámetro de las partículas y su función en el proceso: aquellas menores a una micra son ideales para la floculación,

las que miden entre 1 y 5 micras funcionan como centros de nucleación, mientras que las superiores a 5 micras no logran adherirse efectivamente al floc debido a su excesivo tamaño.

- **Estado de valencia**

Mientras el ion tenga una valencia mayor, el coagulante logrará ser más efectivo. (Cabrera, 2014)

- **Temperatura**

Este factor hará que varíe el tiempo en el que se produzca el floc, a temperaturas más bajas del agua, la reacción será más lenta y se requerirá de mayor tiempo para la formación del floc. (Cabrera, 2014)

- **Concentración de iones H⁺ o ph**

Cada coagulante cuenta con rango de ph ideal en el cual se producirá una buena coagulación rápidamente. (Cabrera, 2014)

- **Alcalinidad**

Está estrictamente ligada al ph, por ello también será un factor a considerar en la coagulación. (Cabrera, 2014)

- **Relación cantidad-tiempo**

A mayor coagulante, menor será el tiempo de formación del floc y viceversa. (Cabrera, 2014)

2.1.2. Papa (*Solanum tuberosum*)

El Perú cuenta con más de 3000 variedades, donde son 41 variedades de papa con alta calidad genética, buena capacidad nutritiva, las cuales han sido desarrolladas por el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) por medio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), beneficiando así a la demanda en Lima, así como en la exportación.

La producción y consumo de papa representa uno de los pilares fundamentales de la alimentación mundial. De acuerdo con el Centro Internacional de la Papa (CIP), este tubérculo se ubica como el tercer cultivo alimenticio más relevante, después del arroz y el trigo. Su impacto es considerable: abastece a más de 1.4 mil millones de consumidores globalmente, con una producción que sobrepasa las 300 millones de toneladas métricas.

Los tubérculos de papa presentan una notable diversidad morfológica. Si bien predominan las formas redondeadas o elípticas, exhiben una amplia gama cromática: desde tonalidades amarillas y marrones claros hasta rosadas en su exterior, mientras que la pulpa suele ser blanca o amarilla, con algunas excepciones varietales.

Estructuralmente, estos tubérculos son adaptaciones de tallos subterráneos especializados en el almacenamiento de almidón. Singh y Kaur (2009) describen su anatomía en tres componentes principales:

La periderma: constituye la capa externa o cáscara, representando aproximadamente el 2% del tubérculo

El parénquima vascular de reserva: forma la mayor parte del tubérculo (75-85%), ubicándose entre la corteza y la médula

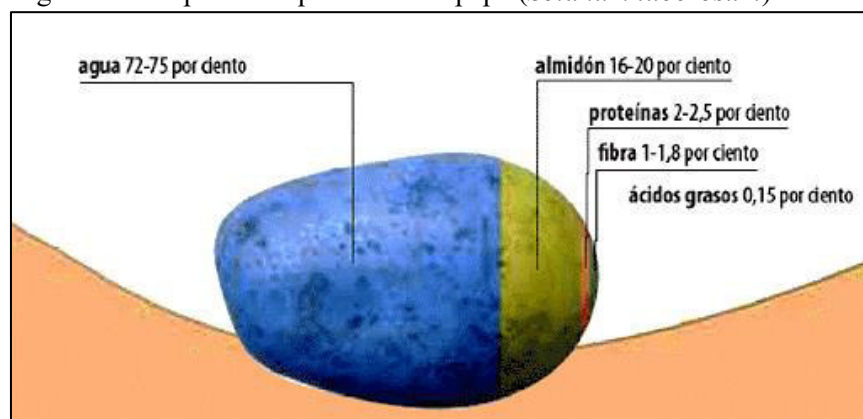
La médula: es un tallo modificado ramificado que comprende entre 14-20% del tubérculo

Esta composición estructural refleja la especialización del tubérculo como órgano de almacenamiento."

Las características químicas que presenta este tubérculo corresponden a un alto contenido de humedad que va desde el 70%-75%. El almidón, la celulosa, la glucosa, la sacarosa y la pectina forman parte de los carbohidratos que forman parte de la papa, sin embargo, la amilosa y la amilopectina son los almidones que se encuentran en mayor proporción. El contenido de almidón de las papas es bastante variable y depende de las variedades (Pazmiño Macas, 2018).

En la figura 1, se presenta el rango de porcentajes de la composición química de la papa.

Figura 1: Composición química de la papa (*Solanum tuberosum*)



Fuente: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2017.

2.1.3. Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca es un tubérculo nativo del continente americano de la familia de las Liliáceas que además de ser muy apreciado como alimento, también ha logrado un mayor protagonismo dentro de industrias de biocombustible, bioquímicos y bioplásticos debido a sus importantes reservas de almidón.

Este tubérculo contiene un alto contenido de nutrientes, siendo una muy buena fuente de carbohidratos complejos, fibra, vitaminas y minerales. Cuenta con un sabor casi neutro lo que la convierte en un ingrediente versátil, pues resulta útil para preparar una amplia variedad de platos, desde simples guarniciones hasta panes esponjosos y postres dulces. A su vez resulta una gran alternativa para personas intolerantes al gluten pues no contiene esta proteína, a diferencia de cereales como el trigo y la cebada

En Perú existen alrededor de 23 variedades de esta raíz tropical, entre las que destaca “Dedo de señorita” pues cuenta con un alto rendimiento y precocidad. Cuenta también con una alta versatilidad ya que puede ser cultivada tanto en zonas costeras como en la Amazonía, así logra ser una opción de negocio bastante atractiva. (Tuesta, 2024)

En la figura 2 se presenta el rango de porcentajes de la composición química de la yuca.

Figura 2: Composición química de la yuca (*Manihot esculenta*)

Componentes / Components	Por 100g / Per 100g
Agua / Water	59.6 g
Energía / Energy	168 kcal
Grasa / Fat	0.28 g
Proteína / Protein	1.36 g
Sodio / Sodium	14 mg
Carbohidratos / Carbohydrates	38.05 g
Fibra / Fiber	1.8 g
Potasio / Potassium	271 mg
Fósforo / Phosphorus	27 mg
Magnesio / Magnesium	21 mg
Hierro / Iron	0.27 mg
Calcio / Calcium	16 mg
Vitamina C / Vitamin C	20.6 mg
Vitamina A / Vitamin A	25 UI
Vitamina E / Vitamin E	0.19 mg
Vitamina B1 / Vitamin B1	0.087 mg
Vitamina B2 / Vitamin B2	0.0048mg
Niacina / Niacin	0.854 mg
Folato /	27 mg

Fuente: Promperú

2.1.4. Almidón

La relevancia del almidón en la industria alimentaria se fundamenta en características específicas, destacando su capacidad de gelatinización a bajas temperaturas y su resistencia a la retrogradación, como señala Hoover (2010). Las propiedades de sus geles están influenciadas por múltiples factores: Zaidul et al. (2007) enfatizan la importancia del tamaño granular, mientras que Kaur et al. (2007) destacan el rol del contenido de fósforo y amilosa. Adicionalmente, Liu et al. (2007) señalan la influencia del complejo amilosa-lípido y la configuración de la amilopectina.

Como polisacárido glucídico, el almidón se sintetiza en los cloroplastos de plantas verdes mediante procesos fotosintéticos. Su distribución en las plantas es heterogénea, concentrándose principalmente en los tubérculos, con presencia menor en frutos y granos. En su composición estructural, destaca la presencia de dos polisacáridos fundamentales: amilosa y amilopectina.

El almidón es un polímero que se compone de estructuras macromoleculares ordenadas en capas, que puede presentar una variedad de fuentes, las cuales son quiénes determinan su cantidad, composición y forma. El almidón es un polisacárido que se compone químicamente de unidades glucosídicas, está conformado por una alta cantidad de moléculas de glucosa que se repiten. (Meneses y Corrales, 2008)

Los gránulos de almidón se encuentran conformados por capas externas de amilopectina y capas internas de amilosa, la composición de cada una de estas dependerá de la fuente de almidón.

Almidón de papa

La papa almacena su energía principalmente en forma de almidón, cuyo contenido, medido en base seca, representa entre 66 y 80% de su composición. Liu et al. (2007) señalan que esta proporción no es constante, sino que varía dependiendo tanto de la variedad cultivada como del estado de maduración de la planta.

La composición del almidón de papa presenta una distribución específica: 84% de amilopectina y 16% de amilosa, destacando esta última por su solubilidad en agua (Holguín, 2019). Romero (2019) señala que este almidón se caracteriza por su contenido de fósforo, elevada viscosidad y notable capacidad de hinchamiento, junto con una baja tendencia a la retrogradación. Sus propiedades funcionales están determinadas principalmente por factores fisicoquímicos, como las dimensiones de sus gránulos y la proporción entre amilosa y amilopectina.

En la siguiente figura, se observa mediante una gráfica de pastel, la composición de almidón en la papa.

Figura 3: Composición del almidón de papa:



Fuente: Holguín (2019)

Almidón de yuca

El almidón de yuca es obtenido a partir del lavado, trituración y tamizado de la raíz de la yuca, posteriormente el almidón es secado y molido hasta obtener un polvo fino.

El almidón de la yuca es un gran referente de la industria alimentaria y textil, ya que es un producto natural que no cuenta con aditivos ni conservantes, se caracteriza por ser un polvo blanco y fino, adicionalmente cuenta con gran capacidad para formar una pasta suave y estable, cuenta con textura cremosa y alta capacidad de absorción.

Dentro de la industria alimentaria, es usado en la producción de una amplia variedad de alimentos como panes, galletas y salsas, es usado como espesante y estabilizante, lo cual les confiere una mejor textura y sabor a los alimentos.

El contenido de amilosa dentro del almidón de yuca es un aproximado de 17%. Se muestra la estructura química las moléculas de amilosa y amilopectina.

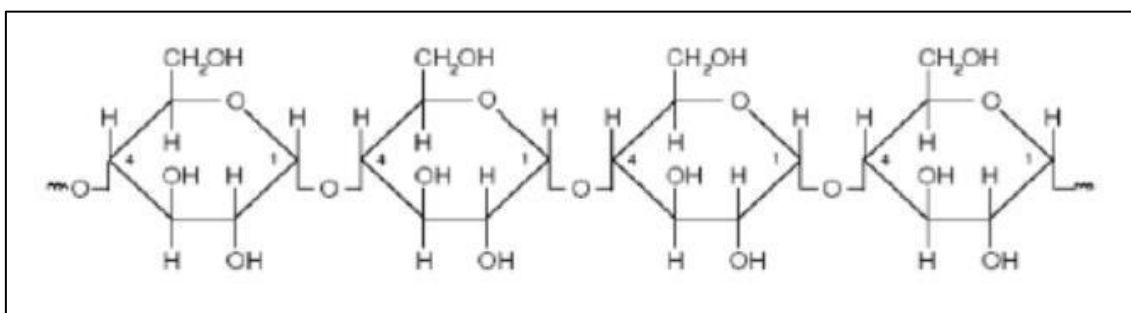


Figura 4: Estructura de molécula de amilosa (Meneses y Corrales, 2008)

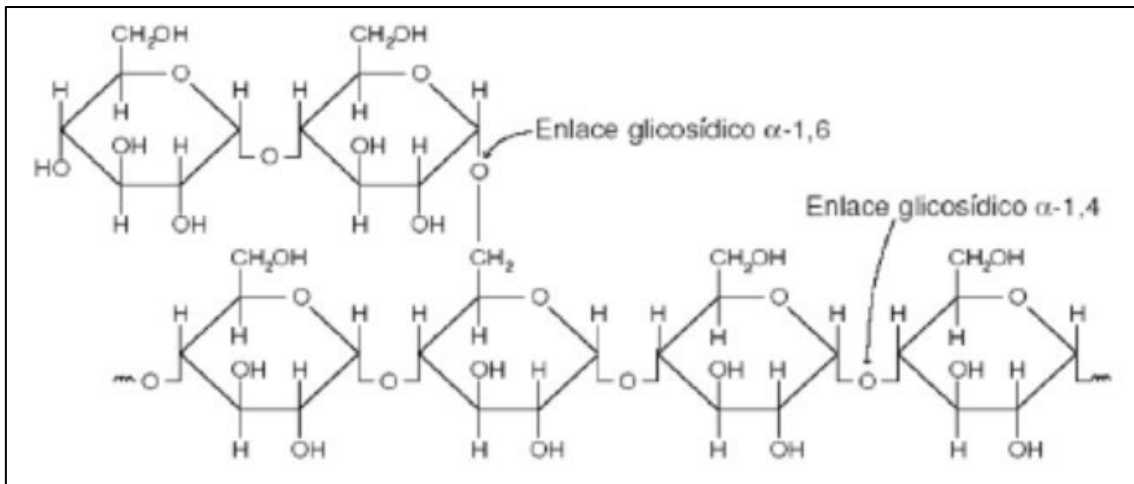


Figura 5: Estructura de molécula de amilopectina (Meneses y Corrales, 2008)

2.1.5. Propiedades de Almidón

➤ Gelatinización

El almidón nativo cuenta con una propiedad muy importante que es la semicristalinidad, cuya responsable de lograrlo es la amilopectina en la mayor parte de los almidones.

La gelatinización se establece como la pérdida de la semicristalinidad de sus gránulos al existir altas cantidades de agua y calor. Esto ocurre en cortos intervalos de temperatura, en el caso de la yuca ocurre entre 60°C y 67°C, que se evidencia con un hinchamiento de las moléculas de almidón. (Meneses y Corrales, 2008)

➤ Retrogradación

Al generarse enfriamiento, la viscosidad se incrementará nuevamente y ocurre la retrogradación, la cual consiste en una reorientación de cadenas moleculares, a su vez se produce una disminución de la solubilidad del agua fría y aumento de la turbiedad. (Meneses y Corrales, 2008)

➤ Transición vítrea

Hace referencia al cambio que experimenta un polímero cuando se ve afectado por la temperatura. Al elevarse la temperatura, el polímero pasa de un estado sólido, frágil y quebradizo a uno más flexible. Este proceso ocurre a una temperatura específica, conocida como temperatura de transición vítrea, y tiene un impacto significativo en diversas propiedades del polímero, como la rigidez de

las cadenas moleculares, el grado de entrecruzamiento de las cadenas, la presencia de cristales y el aumento de las zonas amorfas, entre otras. (Meneses y Corrales, 2008)

➤ **Desestructuración**

La desestructuración se define como el rompimiento de los puentes de hidrógeno, este proceso puede generarse por diversas causas, como son la aplicación de energía, temperatura, contenido de agua, entre otros.

2.1.6. Aguas residuales

Son denominadas así, considerando que sus características han sido modificadas producto de actividades humanas, debido a ello, antes de ser vertidas a los ríos, mares o descargadas al sistema de alcantarillado, requieren de un tratamiento previo con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas residuales domésticas, industriales o municipales.

➤ **Aguas residuales domésticas**

Son de origen residencial y comerciales, los desechos fisiológicos provenientes son de actividad humana.

➤ **Aguas residuales industriales**

Son vertidas durante el desarrollo de un proceso productivo de industrias (p.e. industria textil, pesquera; considerando además la actividad minera, energética, agroindustrial, entre otras.

➤ **Aguas residuales municipales**

Las aguas residuales municipales comprenden una combinación de diferentes efluentes que confluyen en el sistema de alcantarillado combinado. Esta mezcla incluye aguas residuales domésticas, escorrentía pluvial y efluentes industriales que han pasado por un tratamiento previo.

De acuerdo con SUNASS, una persona genera al día 145 litros en la Costa, 144 litros en la Sierra y 136 litros en la Selva.

Principales problemas asociados a las Aguas Residuales

1. Cobertura insuficiente por Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS Saneamiento) a nivel nacional

2. Las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS Saneamiento) no ofrecen un correcto tratamiento de aguas residuales

2.1.7. Sustancias contaminantes presentes en el agua

2.1.7.1. Coloides

Los coloides son partículas de tamaño intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas, debido a que son capaces de dispersar la luz (Efecto Tyndall) a pesar de su tamaño, por lo que estas partículas comunican aspecto turbio al agua. La mayoría de estos están cargados negativamente.

Los coloides se clasifican en hidrofóbicos e hidrofílicos. Los primeros no reaccionan con el agua, mientras que los coloides hidrofílicos reaccionan con el agua. En el tratamiento de aguas es de importancia conocer que los coloides hidrofílicos reaccionan químicamente con el coagulante utilizado en el proceso de tratamiento.

2.1.7.2. Sólidos disueltos

Vargas y Romero (2006) describen la presencia de sustancias disueltas cuyas dimensiones son inferiores a 10^{-9} metros. Esta categoría abarca dos grupos principales: compuestos inorgánicos, representados por diversos cationes y aniones, y compuestos orgánicos que incluyen ácidos, alcoholes y aldehídos. Adicionalmente, estas aguas pueden contener gases disueltos como oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

2.1.8. Parámetros fisicoquímicos que indican la calidad del agua

2.1.8.1. Turbiedad

La turbiedad representa un fenómeno óptico donde los rayos de luz, en lugar de atravesar la muestra en línea recta, experimentan dispersión y absorción. Este efecto se origina por la presencia de diversos elementos en el agua: partículas suspendidas y disueltas, que pueden ser gases, líquidos o sólidos, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica. El tamaño de estas partículas abarca desde dimensiones coloidales hasta macroscópicas, variando según el nivel de turbulencia presente. La remoción de estas partículas es de importancia, para determinar la calidad del agua, el cual dependerá del uso y tratamiento.

La determinación de turbiedad se realiza mediante el Método Nefelométrico, donde se realiza una comparación entre la intensidad de luz dispersada por la muestra y el estándar, la unidad nefelométrica de turbidez (NTU) equivale a 7,5 ppm de SiO_2 .

Se emplea para ello un turbidímetro, los pasos para realizar la lectura de turbiedad son los siguientes:

- Toma de muestra
- Llevar la muestra al laboratorio.
- Calibrar el equipo Turbidímetro
- Lectura del estándar.
- Lectura de la muestra.
- Anotar los resultados obtenidos.

A continuación, puede observarse una imagen referencial del equipo de medición-Turbidímetro.

Figura 6: Equipo turbidímetro.



Fuente: Google images

2.1.8.2. Sólidos

Se refieren a materias suspendidas o disueltas presentes en las diferentes matrices de agua como: aguas potables, superficiales, marinas y costeras, aguas residuales domésticas e industriales, estos sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua, para

cualquiera de ellas, es de suma importancia determinarlos, para darles un tratamiento y evaluar el cumplimiento reglamentario y de la salubridad, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) o Límites Máximos Permisibles (LMP).

Para el estudio vamos a definir 3 tipos de sólidos.

Sólidos disueltos totales (SDT)

Representan la fracción de sólidos en una muestra de agua que logra atravesar un filtro con apertura de poro igual o inferior a $2,0\ \mu\text{m}$ bajo condiciones específicas de filtración.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Las partículas con dimensiones superiores a 10^{-6} metros constituyen los sólidos suspendidos en el agua. Según Vargas y Romero (2006), estos elementos pueden ser de naturaleza mineral, como arenas y arcillas, o de origen orgánico, incluyendo productos de descomposición biológica como ácidos húmicos y fúlvicos. El agua también contiene una población microbiana diversa que incluye bacterias, plancton, algas y virus. La combinación de estos componentes suspendidos es la responsable de las propiedades visuales del agua, específicamente su turbidez y color.

Se le conoce a la porción de sólidos totales en una muestra de agua retenida en el papel filtro. Algunas arcillas y los coloides pasarán a través de un filtro de $2\ \mu\text{m}$.

Sólidos totales (ST)

Los Sólidos Totales (ST) comprenden dos categorías diferenciadas mediante filtración: los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Sólidos Disueltos Totales (SDT). Este proceso de separación física determina la clasificación de las partículas en estado 'suspendido' o 'disuelto'.

La distribución de estas partículas está condicionada por múltiples factores:

Características del filtro:

- Grosor
- Área superficial
- Tamaño de poros
- Tipo de soporte

Propiedades de las partículas:

- Naturaleza
- Dimensiones
- Cantidad presente

- Características físicas

En resumen, podemos definir la obtención de cualquiera de ellos bajo la siguiente fórmula:

$$ST = SST + SDT$$

Donde:

- *ST: Sólidos totales*
- *SST: Sólidos suspendidos totales*
- *SDT: sólido disueltos totales*

2.1.9. Clarificación de aguas

Para realizar una correcta clarificación necesario un tratamiento donde se remuevan diferentes partículas, como se definió líneas arriba, se encuentran los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, partículas coloidales (las cuales tienen un mayor tiempo de sedimentación, debido a su menor tamaño).

La clarificación comprende 3 procesos: Coagulación, floculación y sedimentación.

2.1.9.1 Coagulación

Es el primer paso por realizar, consiste en desestabilizar las partículas coloidales, es decir eliminar la carga eléctrica de los coloides. Los coloides poseen carga eléctrica negativa, se sabe que cargas similares ocasionan repulsión entre sí, por eso es necesario neutralizar las cargas de los coloides. El proceso inicia en el momento que se agrega el coagulante, donde inicia la formación de pequeñas partículas gelatinosas. (Flowen, 2024)

La coagulación es un tratamiento muy efectivo para eliminar impurezas en el agua. Una correcta adición de coagulante condiciona el éxito del procedimiento (Cogollo 2010)

Algunos factores que afectan este proceso son los siguientes:

- Dosis óptima
- Ph óptimo
- Concentración del coagulante

Tabla 1: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación

Tipo de Agua	Tipo de Coagulación	Requerimiento
1. Baja concentración de coloides, baja alcalinidad	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas o ambas
2. Baja concentración de coloides, alta alcalinidad	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas
3. Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (pH 4 a 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad
4. Alta concentración de coloides, alta alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos positivos y precipitaciones de hidróxidos (pH > 7)	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas

Fuente: Cartwright, 2009

2.1.9.2 Floculación

Como etapa posterior a la coagulación, la floculación promueve la aglomeración de partículas coloidales desestabilizadas. Este proceso se fundamenta en la generación de movimiento en el fluido, provocando colisiones entre los coloides que, durante un tiempo de contacto óptimo, se agregan formando estructuras más grandes conocidas como flóculos.

La floculación se logra mediante una mezcla moderada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras discretas, suspendidas y visibles. (Cogollo 2010)

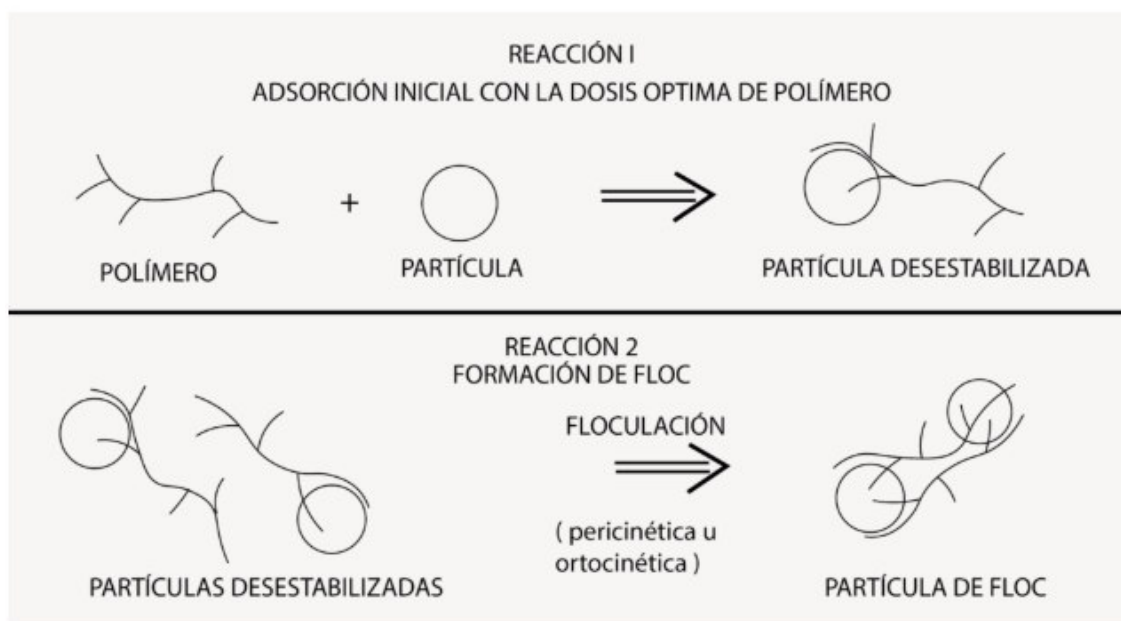
Los factores que afectan este proceso son los siguientes:

- Gradiente de velocidad.
- Tiempo de agitación
- Variación de velocidad

2.1.9.3 Sedimentación

Este procedimiento tiene por objetivo remover partículas más pesadas que el agua mediante la fuerza de gravedad, con ello se busca eliminar materiales en suspensión usando un tiempo de retención adecuado. Se encuentran compuestos generalmente por limos, arenas y coloides agrupados producto de las etapas anteriores.

Figura 7: Mecanismo de funcionamiento de los floculantes o polímeros:



Fuente: Flowen, 2024

2.2. Antecedentes

2.2.1. Antecedentes internacionales

Herrera, M. (2015): “Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas.”- Colombia

En Colombia, el tratamiento de agua potable depende principalmente del sulfato de aluminio y, en menor medida, del sulfato de hierro. Sin embargo, el uso inadecuado de estos coagulantes químicos genera múltiples problemas: impactos ambientales significativos, elevados costos operativos para los municipios y riesgos para la salud de las comunidades cercanas. Estos efectos negativos se deben principalmente a la sedimentación de lodos que contienen dichos compuestos químicos, los cuales alteran los procesos naturales en los cuerpos de agua receptores. Ante esta situación, la investigación se enfocó en desarrollar una alternativa sostenible y económica, evaluando el potencial bio-coagulante de la papa criolla. El proceso consistió en la extracción del almidón de la pulpa como compuesto activo, cuya eficiencia fue evaluada mediante pruebas de jarras, buscando desarrollar una opción natural y económica para la potabilización del agua.

Canaiba, A. Delgado, J. (2020): “Determinación de la efectividad como coagulante a partir de almidón de papa criolla (*Solanum phureja*) en la clarificación de aguas en muestras sintéticas.”- Colombia

El coagulante más utilizado en Colombia para la potabilización de aguas es el sulfato de aluminio, seguido del sulfato de hierro, el inadecuado empleo de estos implica problemas de índole ambiental, además de altos costes a cargo de los municipios, así como problemas en la salud de comunidades aledañas, debido a que estos compuestos químicos son conducidos durante la sedimentación de los lodos ya que estos están constituidos por dichas sustancias que alteran los procesos naturales presentes en las fuentes de aguas a las cuales son vertidos. El objetivo de la investigación consistió en evaluar la eficiencia como bio-coagulante de papa criolla utilizando la pulpa para una posterior obtención de almidón que es el compuesto activo, así generar una alternativa natural para la potabilización la cual es de bajo costo. Con la técnica de la prueba de la prueba de jarras el autor determinó la eficiencia del almidón obtenido a partir de la papa criolla. Los resultados obtenidos por el autor fueron satisfactorios, resultando una eficiencia del 98.7%.

Ortiz Alcocer, V., López Ocaña, G., Torres Balcazar, C. A., & Pampillón González, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas/ Cassava Starch (*Manihot esculenta* Crantz)- México

La turbiedad y el color son parámetros esenciales de determinar a fin de analizar la disminución de sólidos suspendidos y disueltos. Por ello, se estudió la eficiencia de remoción de los parámetros mencionados en aguas residuales domésticas mediante un tratamiento de coagulación floculación mediante el polímero almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y combinando coagulantes floculantes como $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ y $Ca(OH)_2$. Se analizó un total de 216 muestras evaluando las dosis óptimas de polímero y coagulantes, 54 muestras para determinar las dosis óptimas de los coagulantes y 162 de las mezclas. Se logró una mayor efectividad mediante el combinado de 250 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ y 750 mg/L de almidón, logrando una remoción de 75% de la turbiedad y 78 % del color y consiguiendo a su vez economizar el consumo de sulfato de aluminio de 16.7%.

2.2.2. Antecedentes nacionales

Eficiencia de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) y la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) en la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas del parque María Reiche, Miraflores (2018).

La investigación evaluó la eficacia de coagulantes naturales derivados de cáscaras de papa y yuca en el tratamiento de aguas residuales domésticas del parque María Reiche. El estudio empleó diferentes concentraciones (0.1, 0.25, 0.5, 0.75 y 1g) de ambos materiales. Los resultados demostraron que la cáscara de yuca alcanzó mayores porcentajes de remoción, logrando una reducción del 54.7% en DQO y 54.6% en DBO. Por su parte, la cáscara de papa mostró una eficiencia menor, con reducciones de 41.2% en DQO y 48.4% en DBO. La máxima eficiencia se obtuvo con la cáscara de yuca utilizando una dosis de 0.1 g y un tiempo de decantación de 30 minutos.

Ttito, R. (2018). “Evaluación del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas.” Puno.

La búsqueda de alternativas a los coagulantes químicos tradicionales, motivada por sus efectos negativos en el tratamiento de agua, condujo al estudio del almidón de papa como agente coagulante natural. La investigación se centró en evaluar tres variedades de papa para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano, siguiendo la metodología establecida por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). El estudio determinó la dosis óptima mediante la combinación de sulfato de aluminio con almidón extraído de las tres variedades de papa. Los resultados evidenciaron una reducción significativa tanto de sólidos suspendidos como de turbidez, confirmando la eficacia del almidón de papa como coagulante alternativo en el tratamiento de agua potable.

Azabache-Liza, Y. F., Maldonado-Ushiñahua, A., Azabache-Aliaga, R. ., & Dávila-Cardozo, J. (2022). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano. *Revista Amazónica De Ciencias Ambientales Y Ecológicas*, 1(1), e294. San Martín.

El estudio se basa en disminuir la turbiedad y color de las aguas de la quebrada Juninguillo, tomando como clarificante al almidón de yuca. Se realizaron 9 ensayos con 36 pruebas a diferentes concentraciones y velocidades. obteniendo una remoción de 50% de turbiedad y 48% de remoción de color. A su vez se evidenció que las aguas analizadas no presentan una variación de ph al aplicar este polímero, además de contar con una solución óptima al 1% de almidón en solución. Si bien se logró una menor remoción a comparación del sulfato de aluminio, el almidón podría actuar como un ayudante combinado de este en la remoción de turbiedad y color de aguas de consumo humano.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Los coagulantes naturales obtenidos a partir de las cáscaras de papa y yuca tienen una capacidad removedora de sólidos suspendidos totales en una muestra de agua sintética.

3.2. Hipótesis derivada

El coagulante natural obtenido del almidón de yuca cuenta con una mayor eficiencia respecto al obtenido del almidón de papa

3.3. Variables

- Variable independiente: Dosis del coagulante natural obtenido de la cáscara de papa (*Solanum*) y de yuca (*Manihot esculenta*)
- Variable dependiente: Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales en una muestra de agua sintética.

3.4. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Independientes				
Y1: Coagulante natural extraído de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Sustancia que al adicionarse al agua produce la unión de las partículas en suspensión existentes y su agrupamiento en coágulos	Velocidad de agitación	Sólidos suspendidos	Cuantitativa continua
Y2: Coagulante natural que fue extraído de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	Sustancia que al adicionarse al agua produce la unión de las partículas en suspensión existentes y su agrupamiento en coágulos	Velocidad de agitación	Sólidos suspendidos	Cuantitativa continua
Dependientes				
X1: Calidad del agua sintética	Medio en el cual se busca determinar la capacidad de clarificación	Capacidad clarificadora del agua sintética	Sólidos suspendidos	Cuantitativa continua

	de los 2 coagulantes			
--	-------------------------	--	--	--

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

Las pruebas experimentales para corroborar o confrontar la hipótesis de la investigación se realizaron en el laboratorio de Análisis Cuantitativo de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM, ubicada en la Av. Venezuela s/n, Lima 15081, coordenadas: -12.06033103188165 N, -77.08374291533994 S.

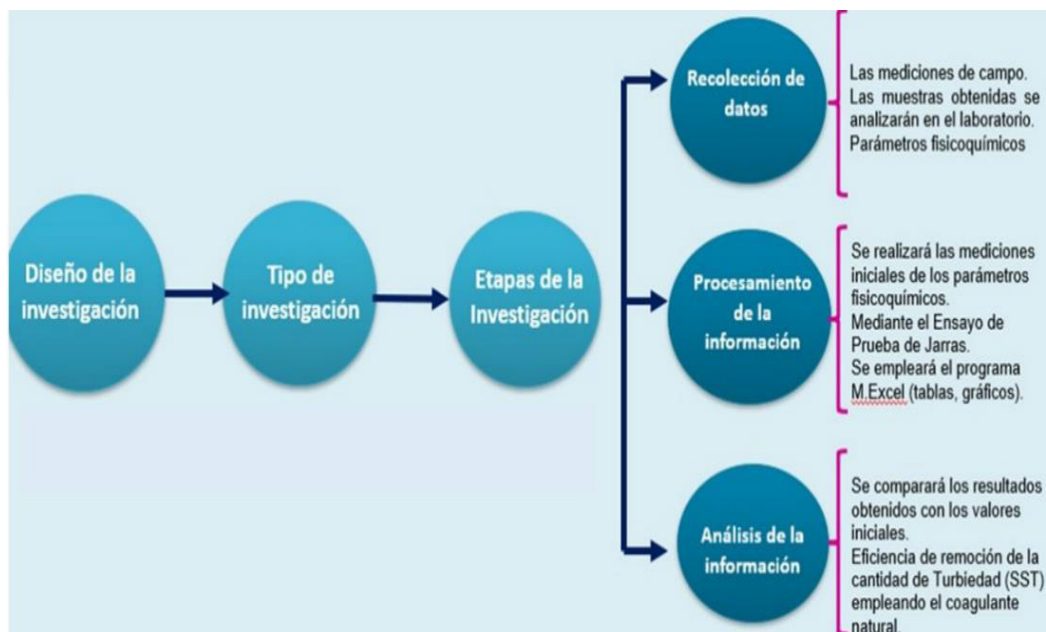
El sujeto de estudio de la investigación corresponde una muestra de agua sintética, que se contaminó con una cantidad conocida de arcilla roja comercial, con el objetivo de conocer la cantidad inicial de sólidos suspendidos totales, producto de la contaminación.

4.2. Diseño de la investigación

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, fundamentado en la experimentación mediante el procedimiento de Prueba de Jarras, donde la presente investigación evalúa específicamente los niveles de reducción de sólidos suspendidos totales en agua sintética preparada bajo condiciones controladas. El razonamiento empleado, es deductivo, se tiene como objetivo contrastar la hipótesis, es decir, verificar si la hipótesis de la presente investigación es correcta o en caso contrario, es refutada.

La metodología realizada se resume en la siguiente imagen.

Figura 8: Esquema de la metodología aplicada



La experimentación utilizó subproductos vegetales, específicamente cáscaras de papa y yuca, recolectadas en un punto de venta gastronómico del distrito de El Agustino. El proceso investigativo se desarrolló según:

Para la molienda de papa y yuca se empleó una temperatura de secado de 100 °C durante 3h, seguido de un triturado y tamizado, para separar las partículas finas de las gruesas. La dosificación del coagulante suministrado en la prueba de Jarras fue de: 200, 300, 400 y 500 ppm, de esta forma se pudo evaluar el grado de remoción de sólidos suspendidos totales en la muestra de agua.

Respecto a la muestra de agua sintética (ver Anexo 6), el agua a contaminar fue agua potable, se usó arcilla roja para la contaminación, también se analizó los parámetros fisicoquímicos como ph y % humedad de la arcilla.

4.3. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.3.1. Equipos y materiales:

- Ph metro
- Prueba de Jarras
- Plancha de calentamiento
- Estufa
- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Vasos de precipitado de 600, 1000 y 5000 ml
- Probeta de 10 y 20 ml.

- Fiolas de 500 ml
- Conos para filtrar.
- Matraz Kitasato
- Papel filtro 1.5 µm
- Papel de aluminio
- Tamiz N°100
- Espátula
- Baguetas
- Bolsas ziploc

4.3.2. Técnicas de recolección de información:

Se muestra la siguiente tabla, donde se muestra los parámetros a analizar, el método empleado y los valores de Estándar de calidad ambiental dadas por el MINAM.

Tabla 2 2: Parámetros a analizar

Parámetro	Unidad	Método	Valor ECA (MINAM, 2017)
pH	Unidad de Ph	lectura directa	6.5 - 9
SST	mg/l	APHA 2540 D	< 1000

Método para determinar pH:

La lectura del pH es directa, para ello se utilizó un pH metro que previamente se calibró, para garantizar una correcta lectura, con los buffers 4, 7 y 10.

Método para determinar Sólidos Suspendidos Totales (APHA 2540):

Principio:

El procedimiento analítico consiste en la filtración de una muestra homogeneizada mediante un filtro estandarizado de fibra vítrea, previamente tarado. Posteriormente, el conjunto filtro-residuo se somete a un proceso de desecación en estufa térmica bajo condiciones controladas de 103-105°C hasta alcanzar masa constante.

El aumento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), para estimar una concentración de TSS de matriz de muestra desconocida, calcule la diferencia entre TDS y sólidos totales.

Interferencias:

El procedimiento de filtración requiere consideraciones específicas para garantizar resultados precisos. Las muestras deben excluir partículas flotantes grandes o aglomerados sumergidos no homogéneos, a menos que sean representativos de la fuente. Es crucial limitar la muestra a aquella que produzca ≤ 200 mg de residuo, evitando así la formación de una costra que pueda retener agua.

En casos de obstrucción por altos niveles de sólidos suspendidos, se recomienda:

- Aumentar el diámetro del filtro, o
- Reducir el volumen de la muestra

Para muestras con elevadas concentraciones de sólidos disueltos, es esencial realizar un lavado minucioso de todas las superficies del filtro para asegurar la eliminación completa del material. Se debe considerar que una filtración prolongada por obstrucción puede retener excesivo material coloidal, generando resultados artificialmente elevados.

Manipule todos los filtros con cuidado, con el lado arrugado hacia arriba. Transferir filtros utilizando unas pinzas para agarrar el borde libre de residuos. Pesarse solo el filtro, no las bandejas o platos de soporte, a menos que se utilice un crisol Gooch.

Procedimiento del método:**a. Preparación del disco filtrante de fibra de vidrio:**

Posicionar el filtro en el sistema de filtración, orientando la superficie rugosa hacia arriba. Aplicar vacío y lavar el filtro con 20 ml de agua grado reactivo, repetir 3 veces.. Continúe la succión para eliminar todos los rastros de agua. Quitar filtro del aparato de filtración y transferir a un plato de pesaje inerte.

Secar en horno a 103-105°C por una hora. Llevar a un desecador, hasta enfriar a T ambiente y pesar. Guarde los filtros (en platos inertes o moldes) en un desecador o en un horno a 103–105°C hasta que sea necesario. La preparación del filtro se demuestra por una pérdida de peso insignificante o ganancia para los espacios en blanco del método.

Para el análisis de compuestos volátiles, calcinar la muestra a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante 15 minutos en horno mufla. Este procedimiento puede ejecutarse alternativamente después del lavado y secado inicial (103-105°C, durante 1h), previamente se pesa.

Si utiliza filtros de fibra de vidrio preparados comercialmente, el encendido, los pasos de lavado y pesaje pueden eliminarse si el fabricante certifica que los filtros preparados cumplen con los requisitos de este método.

Verifique los filtros utilizando espacios en blanco de métodos. Los filtros se verifican si el peso medido difiere del peso del fabricante en menos de $\pm 0,5$ mg.

b. Selección de filtros y tamaños de muestra:

Rango **Óptimo:**

Seleccionar volúmenes de muestra que generen un residuo seco en el intervalo de 2.5 a 200 mg, garantizando la representatividad analítica.

Optimización **del** **Proceso:**

En casos donde el tiempo de filtración exceda los 10 minutos, implementar una de las siguientes modificaciones:

- Incrementar el área efectiva de filtración
- Reducir el volumen muestral analizado

Control **de** **Calidad:**

Documentar y señalar específicamente aquellas muestras cuyos residuos se encuentren fuera de los límites establecidos:

- Residuos inferiores a 2.5 mg
- Residuos superiores a 200 mg

c. Análisis de muestra:

Preparación y filtración

- Agitar o mezclar la muestra homogéneamente
- Transferir un volumen medido usando pipeta o cilindro graduado al filtro de fibra de vidrio
- Aplicar vacío para filtrar
- Realizar al menos tres lavados sucesivos con ≥ 10 ml de agua grado reactivo
- Permitir drenaje completo entre lavados
- Mantener la succión hasta eliminar todos los residuos de agua
- Para muestras con alta concentración de sólidos disueltos, realizar lavados adicionales

Transferencia del filtro:

- Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración
- Transferir a un plato inerte de pesaje o soporte

- En caso de usar crisol Gooch, retirar la combinación crisol-filtro del adaptador.

Proceso de secado

- Secar en horno a 103-105°C durante 1 hora
- Repetir el ciclo (secado, enfriamiento, desecación y pesaje
- Continuar hasta obtener una variación de peso ≤ 0.5 mg"

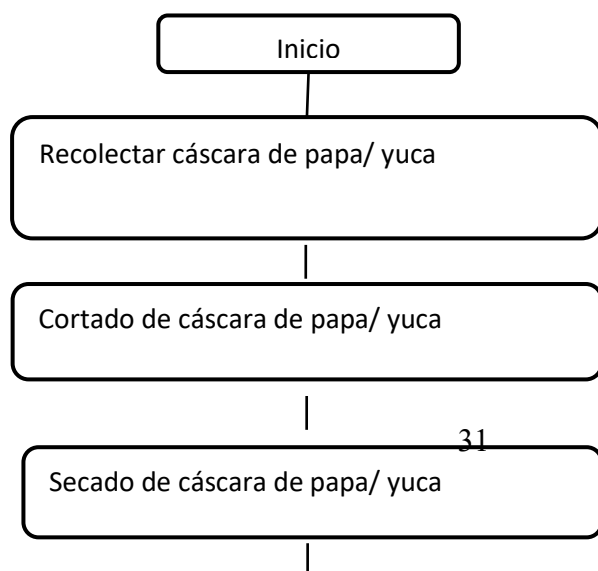
4.3.3. Procedimiento de recolección de información:

4.3.3.1. Obtención del almidón:

Para obtener el almidón de papa y yuca, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Se pesa 7kg de cascara de papa/yuca, se procede a cortar las cáscaras en piezas de 1cm a 3cm, se lava con abundante agua para retirar los restos de suciedad, luego se realiza el secado a 100 °C en una estufa Binder durante 3h (ver Anexo1)
- Con ayuda de un mortero se procede a moler las cáscaras secas, la harina triturada se pasa por un tamiz de malla N°100, para eliminar las partículas gruesas de la harina de cáscara, guardamos las partículas finas en bolsas y sellamos herméticamente.
- Colocar las bolsas en un desecador para evitar que absorba humedad del ambiente, almacenar para la preparación de la solución de cada coagulante.
- Disolver la muestra molida con un volumen de agua de 50 ml aproximado.
- Adicionar agua destilada en ebullición y agitar durante 20 min.
- Enrazar la solución en una fiola con agua destilada fría a un volumen de 500 ml.
- Filtrar la solución al vacío y tomar las alícuotas de la solución preparada.

A continuación, se esquematiza los pasos para obtener tanto la muestra de almidón de papa como de yuca en la figura 8:



Sometidos a una temperatura de 100° C durante 3 horas

Se usó un molino de bolas

Se usó un tamiz de malla #100

Se almacenó herméticamente en bolsas ziplock

Figura 8: Procedimiento para obtener la muestra de almidón de papa /yuca

4.3.3.2. Preparación de la muestra de agua sintética

Se disuelve 2.5 gramos de arcilla roja comercial en 5L de agua potable, se agita la solución preparada durante 1h para que la arcilla roja se hidrate con el agua, reservar la solución para la prueba de Jarras.

4.3.3.3. Preparación de solución madre del coagulante/floculante

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del coagulante, el cual remueva la mayor cantidad de SST en la muestra de agua sintética, se realiza una serie de ensayos a partir de la solución madre del coagulante, se tomarán 4 dosis diferentes de concentración del coagulante que serán evaluadas en la prueba de Jarras.

Solución madre a preparar 2500ppm:

Preparación Inicial: Pesar con precisión 5.0 g de almidón y transferir a un vaso de precipitado. Incorporar 50 mL de agua destilada a temperatura ambiente.

Proceso de Gelatinización: Adicionar gradualmente agua destilada en estado de ebullición mientras se mantiene agitación constante. Conservar el sistema a 120°C durante 20 minutos para garantizar la completa solubilización del almidón.

Estandarización Volumétrica: Transferir cuantitativamente la solución a un matraz aforado de 500 mL. Dejar equilibrar a temperatura ambiente y enrasar con agua destilada hasta el aforo.

Finalmente se procede a rotular el matraz aforado para su identificación.

4.3.3.4. Prueba de Jarras

El ensayo de Jarras constituye una metodología estandarizada que simula los procesos unitarios de coagulación y floculación a escala laboratorio, permitiendo evaluar la eficiencia del tratamiento, cuenta con un regulador de tiempo, regulador de velocidad y paletas de agitación. Para ello vamos a utilizar vasos precipitados de 1000 y 600 ml de capacidad.

El procedimiento llevado a cabo se detalla a continuación:

- Adicionar 500 ml de agua sintética preparada a los vasos de precipitado.
- Ubicar los vasos de precipitado en el equipo de prueba de jarras, bajar las paletas de agitación y colocar la velocidad de coagulación y el tiempo de coagulación.
- Adicionar la dosificación de coagulante 200, 300, 400 y 500 ppm, lo que equivale a 10, 15, 20 y 25 ml de la solución madre de coagulante preparada. El protocolo experimental establece dos fases temporales definidas: 20 minutos de agitación vigorosa para el proceso de coagulación, continuando con 15 minutos de mezclado lento que optimiza la etapa de floculación.

- Finalmente dejar reposar por un tiempo de sedimentación de 30 min. (ver tabla 2, cantidad de análisis a realizar por cada dosificación).

Se realizaron un total de 24 ensayos aplicando 2 coagulantes naturales: cáscara de papa y de yuca, realizando variaciones en la dosificación.

Tabla 33: Cantidad de análisis a realizar por cada dosificación de coagulante.

Tipo de coagulante natural			
cáscara de papa		cáscara de yuca	
Dosis de coagulante (ppm)	RPM	Dosis de coagulante (ppm)	RPM
200	200	200	200
	250		250
	300		300
300	200	300	200
	250		250
	300		300
400	200	400	200
	250		250
	300		300
500	200	500	200
	250		250
	300		300

4.3.3.5. Remoción de Sólidos suspendidos totales

Para evaluar la eficiencia del coagulante en la remoción y comparar cuál de ellos tiene un mayor impacto, se realiza luego del tiempo de sedimentación propuesto en la investigación.

El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

- Transcurrido el tiempo de sedimentación, se toma una alícuota de 50 ml de la superficie de los vasos precipitados.
- Se procede a pesar el papel filtro, anotamos el peso, luego se filtra al vacío con ayuda de una bomba de vacío.
- Se seca el papel filtro dentro de una cápsula en una estufa durante 1h a 103°C.
- Se retira y coloca en un desecador para enfriar.

- Se pesa el papel filtro y anotamos el resultado

El cálculo de la cantidad de sólidos suspendidos se realiza mediante la ecuación:

$$\text{Ecuación 1: Cantidad de Sólidos suspendidos totales } SST \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{Peso_{final} - Peso_{papel\ filtro}}{V_{aliquota\ tomada(ml)}} \times 1000$$

Finalmente, el % de remoción se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 2: % de Remoción

$$\%Remoción = \frac{SST\ inicial - SST\ final}{SST\ inicial} \times 100$$

Donde la cantidad de SST inicial determinada del agua sintética es de 495 mg/l.

4.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico nos permite evaluar qué tanto difieren los datos, la dispersión entre ellos, qué tan alejados se encuentran y en dónde se concentran más. La presente investigación utilizó el programa IBM SPSSM Statics, el cuál evalúa la media, mediana, moda, desviación estándar, confiabilidad y T-Student como parámetros estadísticos.

Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central constituyen indicadores estadísticos que identifican valores representativos en un conjunto de datos. Su relevancia radica en la capacidad de sintetizar grandes volúmenes de información en valores únicos y representativos, facilitando el análisis e interpretación de resultados.

Los estimadores de posición central comprenden:

- Media aritmética: promedio de todos los valores
- Mediana: valor central que divide la distribución en dos partes iguales
- Moda: valor con mayor frecuencia de aparición

En el presente estudio se utilizó la media aritmética como indicador estadístico principal, considerando su robustez para el análisis de variables cuantitativas continuas y su capacidad para representar el comportamiento central de los datos experimentales.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n}$$

Ecuación 3: Media aritmética. (Fuente Westreicher, 2023)

Medidas de dispersión

Son parámetros estadísticos que permiten incrementar la fiabilidad de las medidas de tendencia central, a partir de esto podemos conocer qué tan dispersos están los datos o si se encuentran cerca del valor central.

Las medidas de dispersión constituyen indicadores estadísticos fundamentales que complementan el análisis de tendencia central, cuantificando la variabilidad de los datos respecto a los valores centrales. En el presente estudio se implementaron los siguientes parámetros estadísticos:

- Varianza: cuantifica la dispersión de los datos respecto a su media aritmética
- Desviación estándar: expresa la dispersión en las mismas unidades que la variable original
- Coeficiente de variación: permite comparar la variabilidad entre diferentes conjuntos de datos
- Índice de confiabilidad: establece el nivel de certeza de las estimaciones realizadas.

El dato obtenido al determinar la confiabilidad resulta muy importante pues permite estimar el nivel de precisión con el que se están evaluando las variables, es decir, indica que tan consistente es el proceso de medición o de los resultados. (Barraza, 2007)

$$s^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

Ecuación 4: Varianza. (Fuente; Quevedo, 2021)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Ecuación 5: Desviación estándar. (Fuente: Del Pino, 2017)

$$C_v = \frac{\sigma}{x}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{x}$$

Ecuación 6: Coeficiente de variación. (Fuente: Del Pino, 2017)

$$C=100-C. V$$

Ecuación 7: Confiabilidad. Fuente: (Ross y Valdez, 2007)

Con los resultados obtenidos se utilizó el programa Excel para procesar los datos y el programa software SPSS versión 30 para realizar el análisis estadístico.

4.4.1. Técnica de comprobación de la hipótesis

El estudio evaluó la capacidad coagulante de los extractos derivados de residuos agroindustriales de *Solanum tuberosum* (papa) y *Manihot esculenta* (yuca) en la reducción de SST en una matriz acuosa sintética. La contrastación de las hipótesis alternativas se ejecutó mediante análisis estadístico inferencial, empleando el paquete SPSS v.30 como herramienta de procesamiento de datos.

Tratamiento con cáscara de papa:

Donde la hipótesis nula:

- H0: $\mu > 0,05$ El coagulante de cáscara de papa no presenta diferencias significativas en la reducción de sólidos suspendidos totales (SST) la muestra de agua sintética.

Donde la hipótesis alternativa:

- H1: $\mu < 0,05$ El coagulante de cáscara de papa muestra una reducción estadísticamente significativa en la concentración de SST en la muestra de agua sintética.

Tratamiento con cáscara de yuca:

Donde la hipótesis nula:

- $H_0: \mu > 0,05$ El coagulante de cáscara de yuca no presenta diferencias significativas en la reducción de sólidos suspendidos totales (SST) la muestra de agua sintética.

Donde la hipótesis alternativa:

- $H_1: \mu < 0,05$ El coagulante de cáscara de yuca muestra una reducción estadísticamente significativa en la concentración de SST en la muestra de agua sintética.

Donde:

- μ = nivel de significancia de 0.05.

V. RESULTADOS

Agua sintética

Luego de las mediciones iniciales de la muestra de agua sintética a utilizar en la prueba de jarras, se detalla los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 4 4: Resultados del análisis de la muestra de agua sintética.

PH	SST (mg/L)
7.32	495

De acuerdo con la cantidad de SST obtenidos se observa que el agua sintética se preparó con una dosificación de arcilla baja, la cantidad inicial de SST obtenida fue de 495 ppm, con un pH igual a 7.3, está dentro del rango neutro, según el D.S.004-2017-MINAM (ph 5.5 – 9.0).

Coagulantes

Se preparó 2 soluciones madre de acuerdo con el tipo, se detalla las concentraciones en la siguiente tabla:

Tabla 5 5: Concentración de los coagulantes de cáscara de papa y yuca.

Tipo	V (L)	Peso (gr)	Concentración ppm
Papa	0.5	5	10 000
Yuca	0.5	5	10 000

Tratamiento con coagulante de cáscara de papa

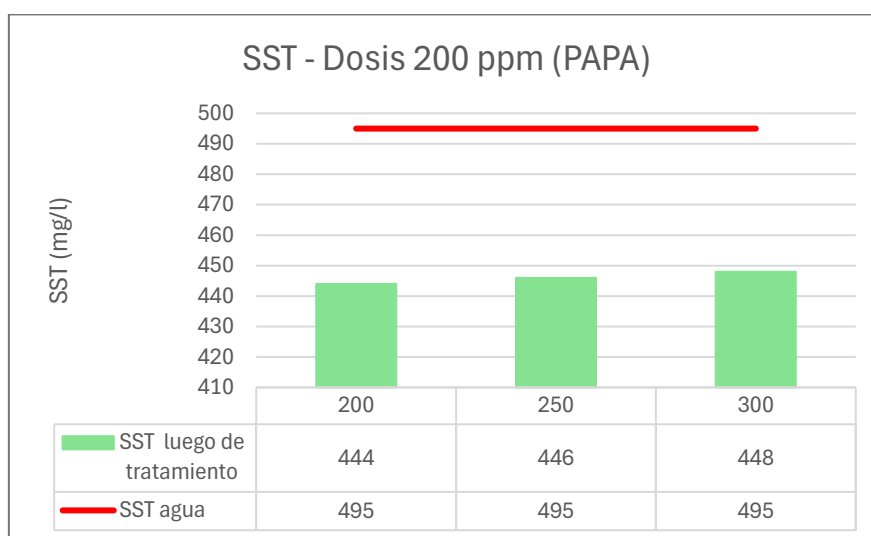
En la tabla 6 se detalla los resultados obtenidos luego de la prueba de Jarras, donde se observa lo siguiente:

Tabla 66: Resultados de %Remoción de SST obtenido con coagulante de cáscara de papa

Tipo de coagulante	Dosificación (ppm)	RPM	PH	SST luego de tratamiento	Remoción %
Cáscara de papa	200 ppm	200		444	10.30
		250		446	9.90
		300	8.10	448	9.49
	300 ppm	200		406	17.98
		250		386	22.02
		300	8.12	358	27.68
	400 ppm	200		378	23.64
		250		396	20.00
		300	8.21	372	24.85
	500 ppm	200		330	33.33
		250		310	37.37
		300	8.03	298	39.80

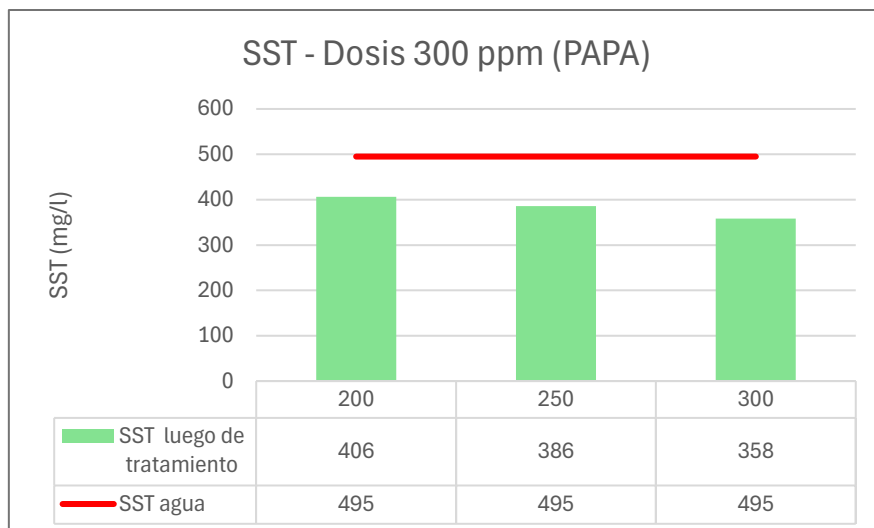
- Para la dosificación de 200 ppm de coagulante se obtuvo valores de remoción menores al 12% lo que indica que no hubo una buena remoción de sólidos suspendidos totales, los valores fueron de 444, 446 y 448 ppm, resultando un promedio de 446, para las velocidades de 200, 250 y 300 RPM respectivamente (ver gráfica 1).

Gráfica 1: SST luego del tratamiento con una dosis de 200 ppm



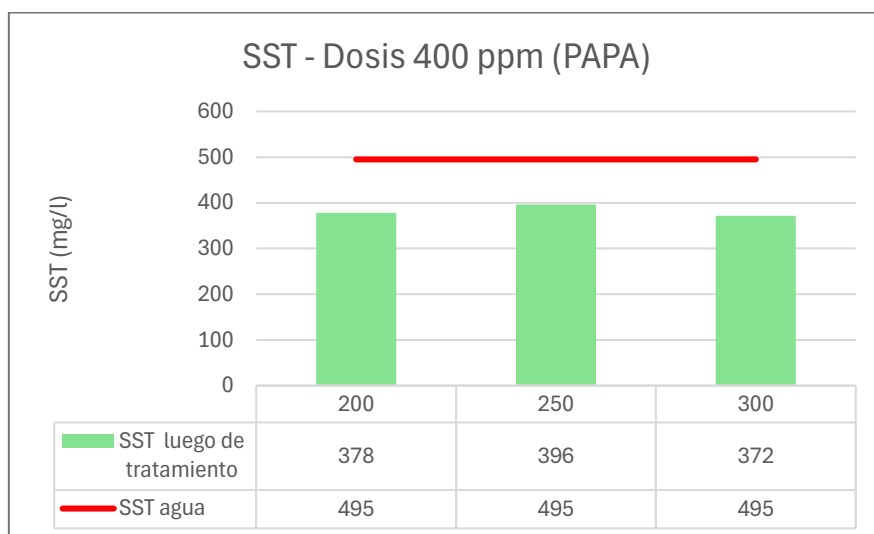
- Para la dosificación de 300 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables, se obtuvo un valor en promedio de 22.5 % (tal como se ve en la tabla 6), lo que indica que hubo buena remoción de sólidos suspendidos totales, siendo los resultados 406, 386 y 358 ppm para las velocidades de 200, 250 y 300 RPM respectivamente (ver gráfica 2)

Gráfica 2: SST luego del tratamiento con una dosis de 300 ppm



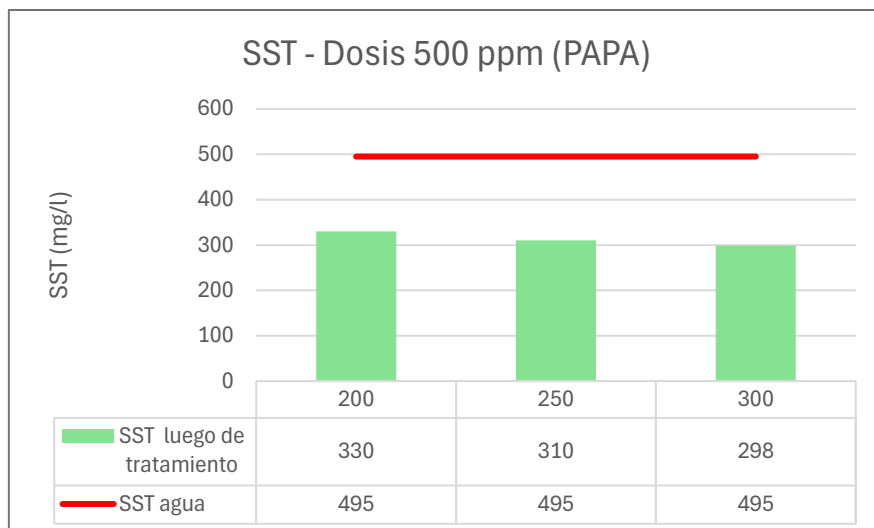
- Para la dosificación de 400 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables, se obtuvo un valor en promedio de 22.8%, lo que indica que hubo remoción de sólidos suspendidos totales, siendo los resultados 378, 396 y 372 ppm para las velocidades de 200, 250 y 300 RPM respectivamente (ver gráfica 3).

Gráfica 3: SST luego del tratamiento con una dosis de 400 ppm



- Para la dosificación de 500 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables de remoción, los valores fueron: 33.3, 37.4, 39.8 % a velocidades de 200, 250 y 300 RPM, siendo los resultados de sólidos suspendidos totales 330, 310, 298 ppm, obtenidos luego del tratamiento (ver gráfica 4), donde se observa que hay una mayor diferencia en cuanto a los SST inicial del agua sintética (495 ppm).

Gráfica 4: SST luego del tratamiento con una dosis de 500 ppm



- Donde la mayor remoción se evidencia a 500 ppm y 300 RPM, obteniendo un valor de 36.8 % de remoción.
- Respecto al pH se elevó un poco luego del tratamiento, sin embargo, está dentro de la normativa del MINAM, siendo un pH ligeramente básico.

Estadística del coagulante de cáscara de papa

➤ Análisis de Normalidad de Datos

La selección del método estadístico inferencial requiere la verificación previa de la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad. El criterio de decisión se establece con base en el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$):

Planteamiento de Hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0):

- $p < 0.05$: La distribución de los datos experimentales no se ajusta a una distribución normal

Hipótesis Alternativa (H_1):

- $p > 0.05$: Los datos experimentales presentan una distribución que se ajusta al modelo de normalidad

Criterios de Decisión:

- Si $p\text{-valor} > 0.05$: Se acepta H_1 (distribución normal)
- Si $p\text{-valor} < 0.05$: Se acepta H_0 (distribución no normal)

Este análisis determina la selección subsecuente de pruebas paramétricas o no paramétricas para el tratamiento estadístico de los datos.

Gráfica 5: Resumen de procesamiento de casos para la papa

Resumen de procesamiento de casos						
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TRATAMIENTO CON PAPA	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%
TRATAMIENTO CON YUCA	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Se observa que todos los datos son valores normales, en porcentaje 100%.

Gráfica 6: Valores descriptivos para la papa

Descriptivos				Estadístico	Error estándar
TRATAMIENTO CON PAPA	Media			381.000000	14.7473675
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		348.541263	
		Límite superior		413.458737	
	Media recortada al 5%			381.888889	
	Mediana			382.000000	
	Varianza			2609.818	
	Desv. estándar			51.0863796	
	Mínimo			298.0000	
	Máximo			448.0000	
	Rango			150.0000	
	Rango intercuartil			97.5000	
	Asimetría			-.189	.637
	Curtosis			-.931	1.232

En la gráfica 6 se aprecia los resultados de la media igual a 381 ppm, se tuvo un límite inferior de 348 ppm y un límite superior de 413 ppm.

Gráfica 7: Pruebas de normalidad para la papa

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SST INICIAL	.	12	.	.	12	.
TRATAMIENTO CON PAPA	.223	12	.102	.899	12	.154

a. Corrección de significación de Lilliefors

Considerando el tamaño muestral ($n=12 < 30$), se implementó la prueba de Shapiro-Wilk como método de análisis de normalidad, siendo este la prueba más robusta para muestras pequeñas.

El análisis post-tratamiento reveló un valor de significancia de 0.154 ($p > 0.05$), como se evidencia en la Gráfica 7. Este resultado conduce a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_1), confirmando que los datos se ajustan a una distribución normal.

➤ Prueba de T-Student:

Se realizó un análisis estadístico paramétrico (prueba t de Student para muestras relacionadas) para evaluar la significancia de la variación en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) antes y después del tratamiento con coagulante derivado de *Solanum tuberosum*.

Planteamiento de Hipótesis:

- Hipótesis Nula (H_0):
 $p > 0.05$: Las diferencias entre las concentraciones inicial y final de SST no son estadísticamente significativas, indicando ineficiencia del coagulante de cáscara de papa.
- Hipótesis Alternativa (H_1):
 $p < 0.05$: Existe una reducción estadísticamente significativa en la concentración de SST post-tratamiento, demostrando la eficiencia del coagulante de cáscara de papa.

Parámetros de Análisis:

- Prueba estadística: t de Student pareada
- Variables comparadas: SST inicial vs SST final
- Nivel de confianza: 95%
- Criterio de decisión: valor p

Gráfica 8: Resultados prueba T-Student para la papa

Prueba de muestras emparejadas										
		Diferencias emparejadas					Significación			
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	P de un factor	P de dos factores
Par 1	SST INICIAL - TRATAMIENTO CON PAPA	114.0000000	51.0863796	14.7473675	Inferior	Superior	7.730	11	<.001	<.001

De la gráfica 8 se observa que el valor de significancia fue menor a 0.001, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis 0 y se acepta la hipótesis 1, donde el coagulante de cáscara de papa es eficiente para remover sólidos suspendidos totales. El análisis mediante la prueba t de Student, representado en la Gráfica 8, reveló un nivel de significancia $p < 0.001$, valor considerablemente inferior al umbral crítico establecido ($p = 0.05$).

Decisión Estadística:

- Rechazo de la hipótesis nula (H_0)
- Aceptación de la hipótesis alternativa (H_1)

Los resultados proporcionan evidencia estadística robusta que confirma la eficiencia significativa del coagulante derivado de la cáscara de papa en la remoción de sólidos suspendidos totales.

Tratamiento con el coagulante de cáscara de yuca

En la tabla 7 se detalla los resultados obtenidos luego de la prueba de Jarras, donde se observa lo siguiente:

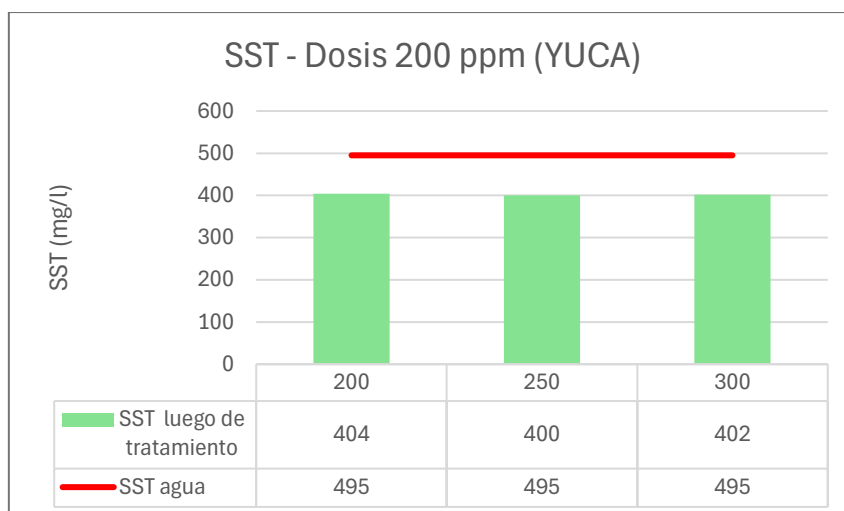
Tabla 77: Resultados de %Remoción de SST obtenido con coagulante de cáscara de yuca

Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (ppm)	RPM	PH	SST (mg/L)	Remoción %
Cáscara de yuca	200 ppm	200		404	18.38
		250		400	19.19
		300	8.15	402	18.79
	300 ppm	200		352	28.89
		250		350	29.29
		300	8.30	358	27.68
	400 ppm	200		346	30.10
		250		318	35.76
		300	7.8	304	38.59
	500 ppm	200	7.8	302	38.99
		250	8.0	276	44.24
		300	8.21	272	45.05

- Para la dosificación de 200 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables, se obtuvo un valor en promedio de 18.8 % en la remoción de SST, lo

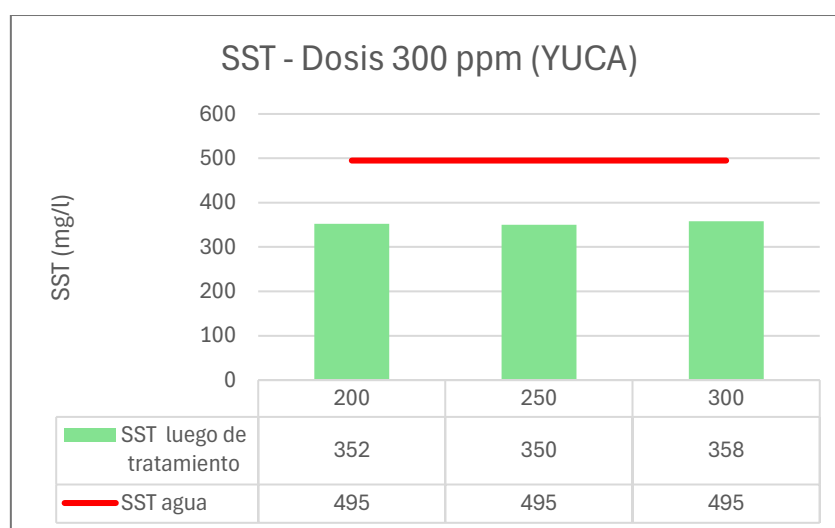
que indica que hubo una buena remoción de sólidos suspendidos totales, siendo los resultados 404, 400, 402 ppm para las velocidades de 200, 250 y 300 RPM respectivamente (ver gráfica 9).

Gráfica 9: SST luego del tratamiento con una dosis de 200 ppm



- Para la dosificación de 300 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables, se obtuvo un valor en promedio de 28.6 % de remoción de SST, lo que indica que hubo una buena remoción de sólidos suspendidos totales, siendo los resultados 352, 350, 358 ppm para las velocidades de 200, 250 y 300 RPM respectivamente (ver gráfica 10).

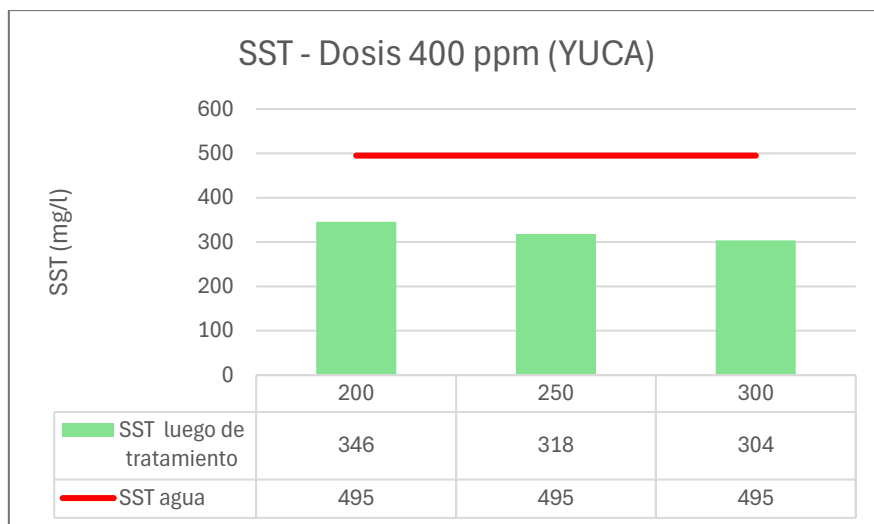
Gráfica 10: SST luego del tratamiento con una dosis de 300 ppm



- Para la dosificación de 400 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables de remoción, los valores fueron: 30.1, 35.76, 38.6 % a velocidades de 200, 250 y

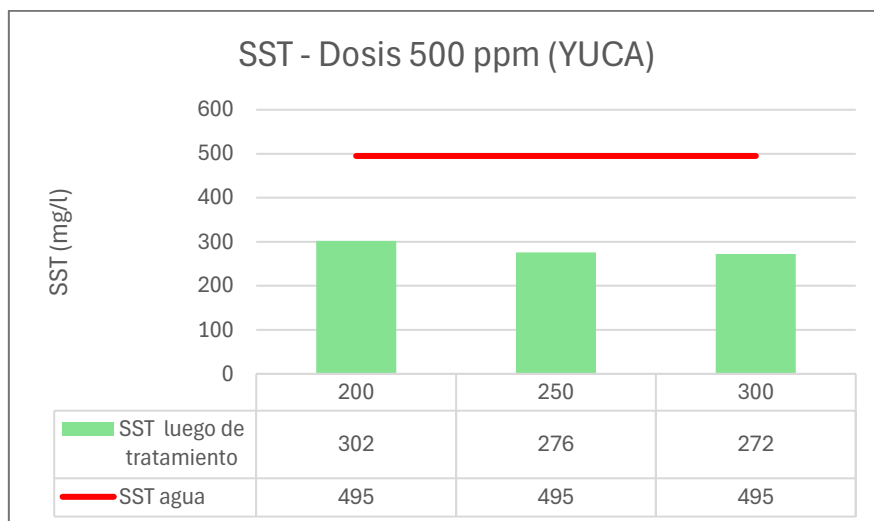
300 RPM, los valores de sólidos suspendidos totales luego del tratamiento fueron de 346, 318, 304 ppm, siendo menores a la cantidad inicial de SST de la muestra de agua sintética (495 ppm). (Ver Gráfica 11)

Gráfica 11: SST luego del tratamiento con una dosis de 400 ppm



- Para la dosificación de 500 ppm de coagulante se obtuvieron resultados favorables de remoción, los valores fueron: 39, 44,2 45,0 % a velocidades de 200, 250 y 300 RPM, que corresponden a 302, 276 y 272 ppm de sólidos suspendidos, siendo menores a la cantidad inicial de SST de la muestra de agua sintética de 495 ppm. (Ver Gráfica 12)

Gráfica 12: SST luego del tratamiento con una dosis de 500 ppm



- Donde la mayor remoción se evidencia empleando una dosificación de 500 ppm del coagulante y una velocidad de agitación de 300 RPM, condiciones que permitieron reducir la concentración de sólidos suspendidos totales hasta 272

ppm, representando una eficiencia de remoción del 45.05% respecto a la concentración inicial.

- Respecto al pH se elevó un poco luego del tratamiento, sin embargo, está dentro de la normativa del MINAM, siendo un pH ligeramente básico.

Estadística del coagulante de cáscara de yuca

➤ Análisis de Normalidad de Datos

La selección del método estadístico inferencial requiere la verificación previa de la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad. El criterio de decisión se establece con base en el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$):

Planteamiento de Hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0):

- $p < 0.05$: La distribución de los datos experimentales no se ajusta a una distribución normal

Hipótesis Alternativa (H_1):

- $p > 0.05$: Los datos experimentales presentan una distribución que se ajusta al modelo de normalidad

Criterios de Decisión:

- Si $p\text{-valor} > 0.05$: Se acepta H_1 (distribución normal)
- Si $p\text{-valor} < 0.05$: Se acepta H_0 (distribución no normal)

Este análisis determina la selección subsecuente de pruebas paramétricas o no paramétricas para el tratamiento estadístico de los datos.

Gráfica 13: Resumen de procesamiento de casos para la yuca

Resumen de procesamiento de casos						
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TRATAMIENTO CON YUCA	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Se observa que todos los datos son valores normales, un porcentaje de 100%.

Gráfica 14: Valores descriptivos para la yuca

Descriptivos				Estadístico	Error estándar
TRATAMIENTO CON YUCA	Media			340.333333	13.5083214
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		310.601718	
		Límite superior		370.064948	
	Media recortada al 5%			340.592593	
	Mediana			348.000000	
	Varianza			2189.697	
	Desv. estándar			46.7941980	
	Mínimo			272.0000	
	Máximo			404.0000	
	Rango			132.0000	
	Rango intercuartil			87.0000	
	Asimetría			.013	.637
	Curtosis			-1.182	1.232

En la gráfica 14 se aprecia que el valor de la media resultó ser 340, además el límite inferior fue de 310 y el límite superior fue de 370.

Gráfica 15: Pruebas de normalidad para la yuca

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TRATAMIENTO CON PAPA	.141	12	.200 [*]	.939	12	.483

Considerando el tamaño muestral ($n=12 < 30$), se implementó la prueba de Shapiro-Wilk como método de análisis de normalidad, siendo este la prueba más robusta para muestras pequeñas.

El análisis post-tratamiento reveló un valor de significancia de 0.483 ($p > 0.05$), como se evidencia en la Gráfica 15. Este resultado conduce a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_1), confirmando que los datos se ajustan a una distribución normal.

➤ Prueba de T-Student:

Se realizó un análisis estadístico paramétrico (prueba t de Student para muestras relacionadas) para evaluar la significancia de la variación en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) antes y después del tratamiento con coagulante derivado de *Manihot Esculenta*.

Planteamiento de Hipótesis:

- Hipótesis Nula (H_0):
 $p > 0.05$: Las diferencias entre las concentraciones inicial y final de SST no son estadísticamente significativas, indicando ineficiencia del coagulante de cáscara de yuca.
- Hipótesis Alternativa (H_1):
 $p < 0.05$: Existe una reducción estadísticamente significativa en la concentración de SST post-tratamiento, demostrando la eficiencia del coagulante de cáscara de yuca.

Parámetros de Análisis:

- Prueba estadística: t de Student pareada
- Variables comparadas: SST inicial vs SST final
- Nivel de confianza: 95%
- Criterio de decisión: valor p.

Gráfica 16: Resultados prueba T-Student para la yuca

Prueba de muestras emparejadas										
		Diferencias emparejadas						Significación		
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	P de un factor	P de dos factores
Par 1	SST INICIAL - TRATAMIENTO CON YUCA	154.6666667	46.7941980	13.5083214	Inferior	Superior	11.450	11	<.001	<.001

De la gráfica 16 se observa que el valor de significancia fue menor a 0.001, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis 0 y se acepta la hipótesis 1, donde el coagulante de cáscara de yuca es eficiente para remover sólidos suspendidos totales en la muestra de agua sintética.

De la gráfica 16 se observa que el valor de significancia fue menor a 0.001, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis 0 y se acepta la hipótesis 1, donde el coagulante de cáscara de yuca es eficiente para remover sólidos suspendidos totales. El análisis mediante la prueba t de Student, representado en la Gráfica 16 reveló un nivel de significancia $p < 0.001$, valor considerablemente inferior al umbral crítico establecido ($p = 0.05$).

Decisión Estadística:

- Rechazo de la hipótesis nula (H_0)
- Aceptación de la hipótesis alternativa (H_1)

Los resultados proporcionan evidencia estadística robusta que confirma la eficiencia significativa del coagulante derivado de la cáscara de yuca en la remoción de sólidos suspendidos totales

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A diferencia de otra investigación que obtuvo un 29.9% de remoción de SST (Hurtado J., Yarleque E., 2017), para el coagulante de cáscara de papa con una revolución máxima proporcionada por el equipo de 300 RPM y un tiempo de coagulación – floculación de 35 min se obtuvo una remoción del 39.8 %, lo que indica una buena remoción de sólidos, ello se evidenció también en la apariencia del vaso precipitado luego del tiempo de sedimentación propuesto de 30 min.

El coagulante de cáscara de yuca con una revolución de 300 RPM y un tiempo de coagulación - floculación de 35 min presenta resultados favorables en la remoción de

sólidos suspendidos totales de 45.05 %, a diferencia de la investigación de (Hurtado J., Yarleque E., 2017), que obtuvo una remoción de 39.8 %. lo que indica una buena remoción de sólidos a mayor concentración de coagulante agregado.

La concentración de la solución madre de ambos coagulantes fue de 5g en 500 ml de agua destilada, se considera una concentración alta, de la misma forma se realizó en la investigación de (Canaiba A., Delgado J., 2020) usaron 10 gr en 1000 ml de agua destilada, obteniendo la misma concentración de 10 000 mg/l de coagulante, a partir de ahí se tomaron las diferentes concentraciones de coagulante para remover los SST.

Comparando los resultados de porcentaje de remoción para ambos coagulantes se puede apreciar que se obtiene una mejor remoción de sólidos suspendidos totales con la cáscara de yuca (a las mismas condiciones), durante la preparación de la solución madre, la solubilización fue mayor que de la papa, garantizando así un mayor contenido de almidón.

La concentración óptima determinada en este estudio (500 mg/L) para alcanzar la máxima eficiencia en la remoción de SST presenta una divergencia significativa respecto a investigaciones previas. Específicamente, Hurtado y Yarleque (2017) reportaron resultados satisfactorios empleando una dosificación considerablemente menor (80 mg/L) del coagulante derivado de la cáscara de papa.

Se realizó la prueba de normalidad para evaluar la distribución de los datos, como tenemos 24 datos para cada coagulante se usó la prueba Shapiro Wilk, donde se obtuvo un nivel de significancia mayor a 0.05, por lo que nuestros datos siguen una distribución normal. El análisis inferencial mediante la prueba t de Student confirmó la significancia estadística de los resultados obtenidos para ambos coagulantes. Los valores p obtenidos fueron inferiores al nivel crítico establecido ($\alpha = 0.05$), concluyendo que ambos coagulantes tienen capacidad significativa para la reducción de sólidos suspendidos totales, respaldada por evidencia estadística robusta.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones:

- Respecto a la prueba de jarras se obtuvo un mayor % de remoción a 300 RPM para el caso de la papa y yuca.
- De acuerdo con la prueba de T-Student se obtienen resultados con un valor de significancia menor a 0.05 por lo que se concluye que ambos coagulantes son eficientes en la remoción de SST.
- Acorde a los resultados obtenidos existe diferencias significativas entre los % de remoción de los coagulantes, logrando mayor porcentaje de remoción el de yuca.

7.2. Recomendaciones:

- Se recomienda trabajar a mayores concentraciones de coagulante y evaluar el efecto del almidón de papa y yuca.
- Trabajar con una dosis de agua sintética mayor a 500 ppm, y observar visualmente en la prueba de jarras la cantidad de sólidos sedimentados.
- Considerar agregar un floculante para observar la formación de los flóculos de mayor tamaño.
- Evaluar la toma de muestra de un efluente, para analizar la medición de Turbiedad a la investigación, debido a que el resultado es más rápido de obtener.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Aguas residuales.Info, Flowen (2024). “Proceso de coagulación y floculación en el tratamiento de efluentes”
- ✓ Aguilar, E; Yupanqui, J. (2018). “Optimización de la dosis de coagulante y floculante en el tratamiento químico del agua de bombeo en una empresa pesquera de Chimbote”.
- ✓ Azabache-Liza, Y. F., Maldonado-Ushiñahua, A., Azabache-Aliaga, R. ., & Dávila-Cardozo, J. (2022). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano. *Revista Amazónica De Ciencias Ambientales Y Ecológicas*, 1(1), e294. San Martín.
- ✓ Brandt, M.J.; Johnson, K.M.; Elphinston, A.J.; Ratnayaka, D.D. Storage, clarification and chemical treatment. In Twort's Water Supply; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017.
- ✓ Chama, J. (2016). “Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. Única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la Planta de Tratamiento Samegua, Moquegua.”
- ✓ Cruz, E. (2020). Evaluación de la semilla *Tamarindus indica* “tamarindo”, como coagulante natural, en el tratamiento fisicoquímico, en las aguas residuales domésticas, en el distrito de Soritor, 2019 [universidad nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3951>
- ✓ Díaz, J. (2019). Aplicación de la enzima papaina obtenida a partir de las semillas "carica papaya" como coagulante natural para la remocion de turbidez en la ptar- v.e.s. [universidad nacional tecnológica de lima sur]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/174>
- ✓ Diaz, N; Lino, C; Huaytalla, R. (2018). “Uso del quitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la industria textil.”
- ✓ Eficiencia de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) y la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) en la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas del parque María Reiche, Miraflores (2018). https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/7908/Tesis_Eficiencia_Cascara_Papa_y%20_Cascara_Yuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ✓ (Evaluación de la Utilización del Almidón de Papa, Yuca y Banano Como Biocoagulantes Para el Tratamiento de Aguas de una Industria Láctea, 2018)

- ✓ Fernández, M. (2018). "Eficiencia de la cáscara de papa como coagulante para remover materia organica, en efluentes de la industria textil".
- ✓ García B. 2007. "Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo". Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia.
- ✓ Gonzalez, M; Susial, P; Perez, J; Doña, J. (2013). "Preparation of Activated Carbons form Banana leaves by chemical Activation with Phosphoric Acid. Adsorption of Methylene Blue.", una revisión. Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 12, No. 3, pág. 596.
- ✓ Huaranga, J. Vilcarano, D. (2019). "Efectividad del coagulante obtenido de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) en la turbidez para la potabilización del agua."
- ✓ Hurtado J., Yarleque E. (2017) "Determinación de la Capacidad Clarificadora del Coagulante natural extraído de la papa (*Solanum tuberosum*) en la purificación del agua del Río Patari para Uso de Consumo Humano"
- ✓ Instituto Nacional de Estadística e Informática. [INEI]. (2019). "En el 2021 año del Bicentenario de la Independencia el Perú contará con una población de 33 millones 35 mil 304 habitantes". Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-2021-ano-del-bicentenario-de-la-independencia-el-peru-contara-con-una-poblacion-de-33-millones-35-mil-304-habitantes-11624/>
- ✓ Jaramillo, J., & Ramírez, H. (2015). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua.
- ✓ Lozano, L. (2018). "Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018 [UPAGU]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- ✓ Moscoso, L. (2015). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación-floculación en Sistemas de tratamiento de agua para potabilización. Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf
- ✓ Objetivo de Desarrollo Sostenible. [ODS]. Objetivo 6: Agua limpia y Saneamiento. Disponible en: <https://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- ✓ Ortiz Alcocer, V., López Ocaña, G., Torres Balcazar, C. A., & Pampillón González, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la

coagulación floculación de aguas residuales domésticas/ Cassava Starch (*Manihot esculenta* Crantz)- México

- ✓ Ramírez, H; Jaramillo, J. (2015). “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/document-1.pdf>
- ✓ Shogren R. 2009. Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates, Carbohydrate Polymers, 76: 639–644.
- ✓ Ttito, R. (2018). “Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas.”

IX. ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Título del tema: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) UTILIZANDO COAGULANTES NATURALES OBTENIDOS DE LA PAPA (<i>Solanum tuberosum</i>) Y YUCA (<i>Manihot esculenta</i>)			
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología
¿De qué manera los coagulantes naturales van a tener la capacidad de remover la cantidad de sólidos suspendidos totales en la muestra de agua sintética?	Evaluar la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) utilizando los coagulantes naturales obtenidos a partir de las cáscaras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	Los coagulantes naturales obtenidos a partir de las cáscaras de papa y yuca tienen una capacidad removedora de sólidos suspendidos totales en una muestra de agua sintética. .	Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, fundamentado en la experimentación mediante el procedimiento de Prueba de Jarras, se presenta 2 variables una independiente y dependiente, se busca contrastar o verificar la hipótesis mediante pruebas estadísticas

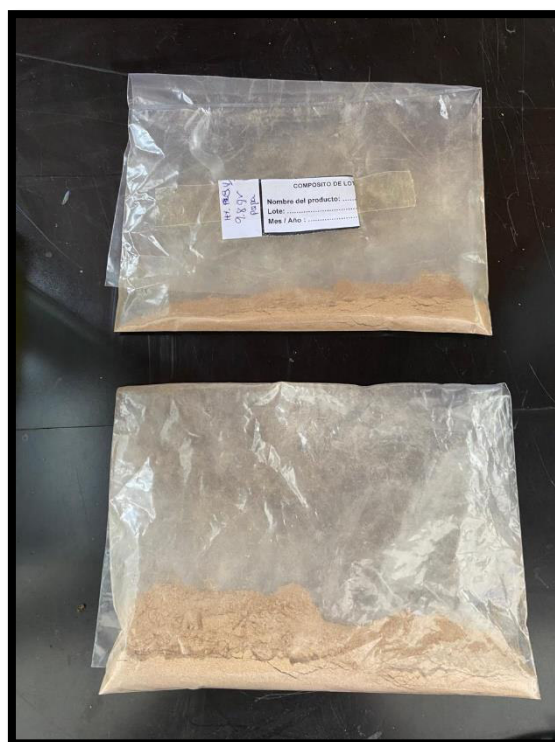
ANEXO 2: Panel fotográfico

ANEXO 2.1: Proceso de obtención de cáscaras de papa y yuca molidas

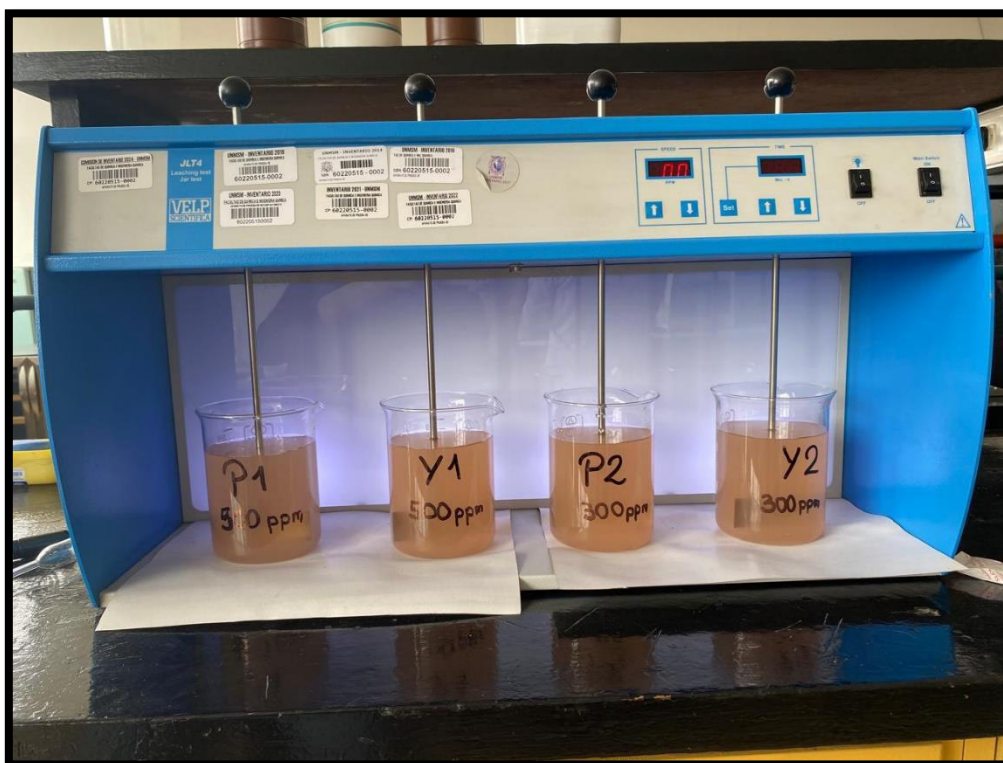




ANEXO 2.2: Cáscaras de papa y yuca molidas respectivamente



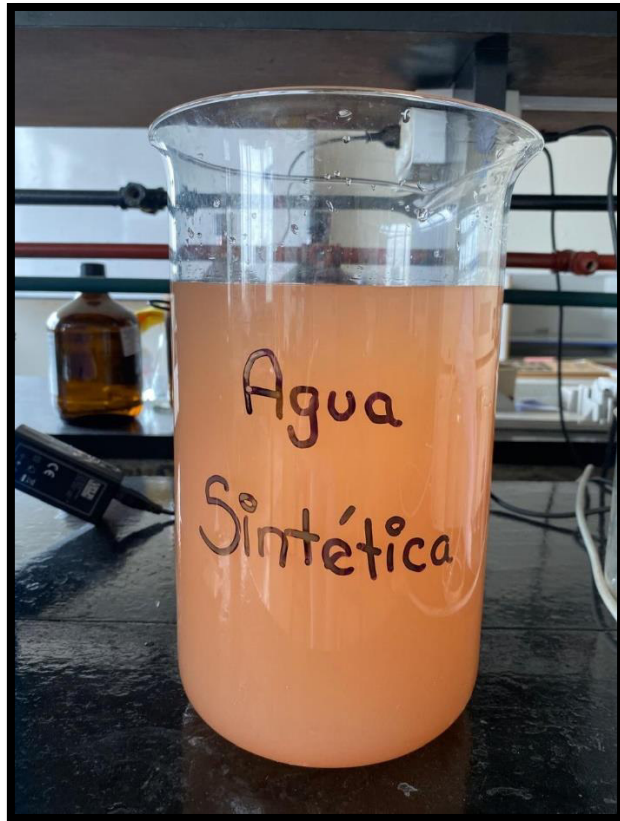
ANEXO 2.3: Método Prueba de jarras a distintas concentraciones



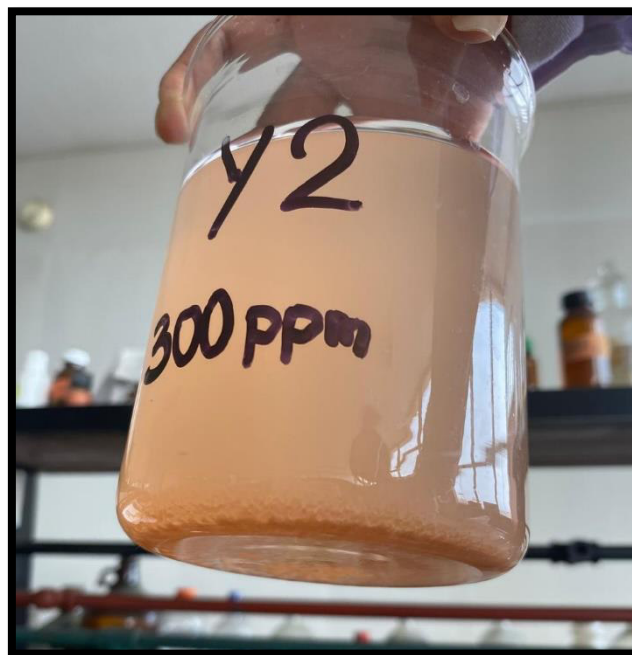
ANEXO 2.4: Medición de ph de la muestra



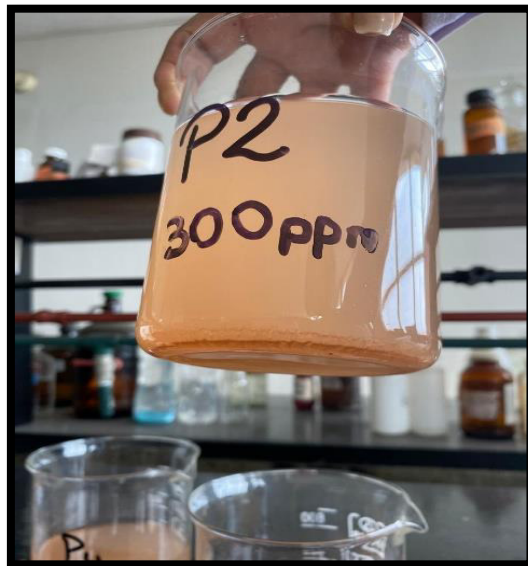
ANEXO 2.5: Muestra de agua sintética (antes)



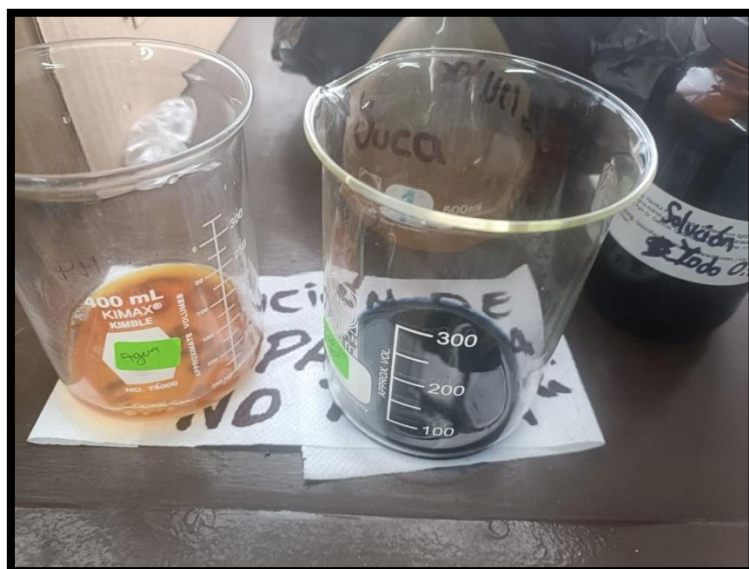
ANEXO 2.6: Muestra de agua sintética (después del tratamiento)



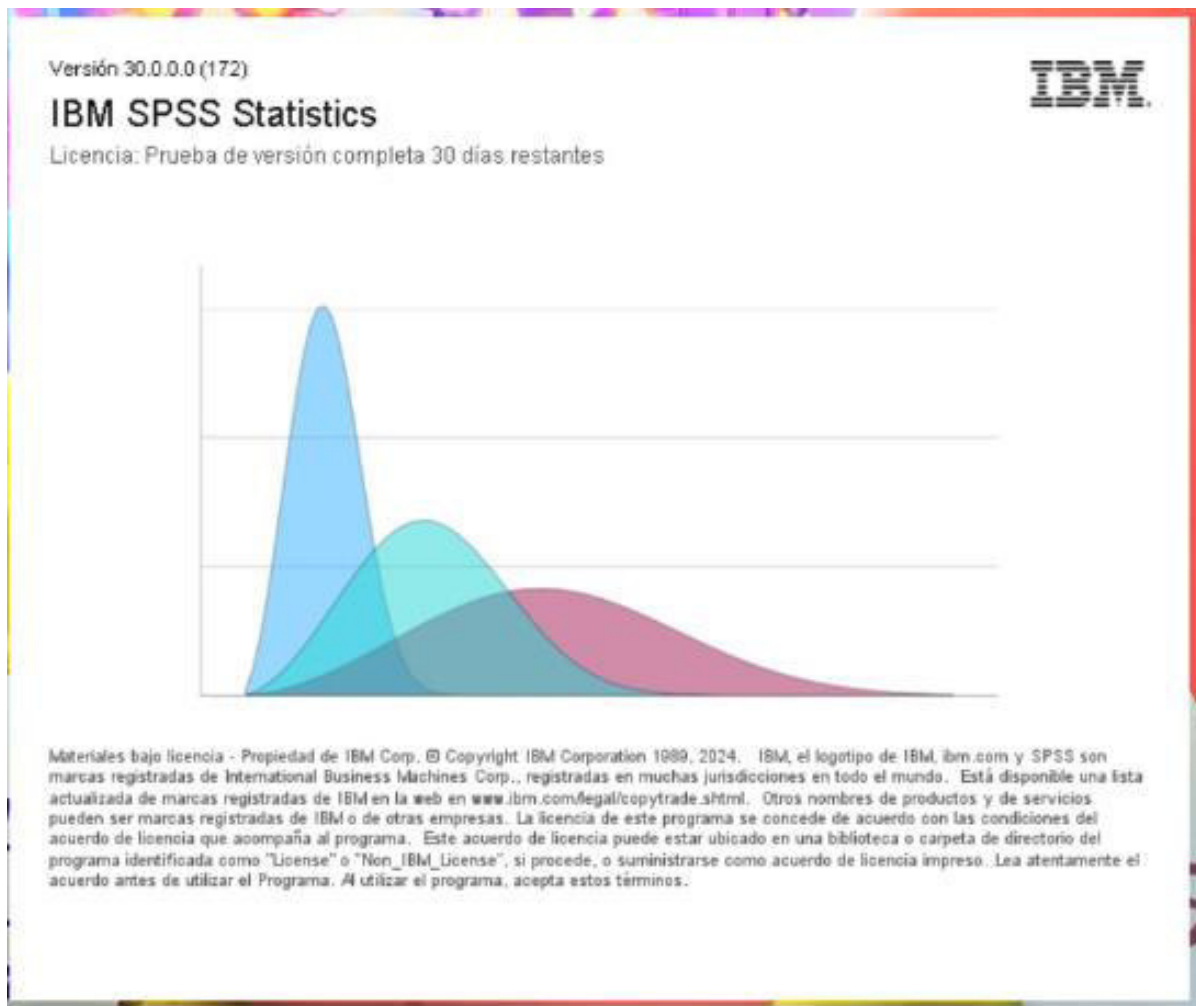
ANEXO 2.7: Muestra de agua sintética (después del tratamiento)



ANEXO 2.8: Prueba del yodo para determinación de almidón



ANEXO 3: Programa estadístico



Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, preisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinoa); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua léticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEIRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Cdor verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CA Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CA Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentosos o pluricelulares.

$\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Parámetros	Unidad de medida	A 1	A 2	A 3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₇ - C ₂₆)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
DicloroDifenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2000	20000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁴	<5x10 ⁴

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).