

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y
Recursos Naturales**



TESIS

“Eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022”

Presentada por:

BALDERRAMA ARREDONDO, Jaime Arturo

DAMIANO AMAO, Rubén Darío

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Andahuaylas - Apurímac - Perú

2023

Tesis

“Eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022”

Línea de Investigación

Calidad Ambiental

Asesor:

Mg. Alexei Reynaga Medina



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS
NATURALES**

**EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE OCA (*OXALIS TUBEROSA*) Y PAPA
(*SOLANUM TUBEROSUM*) EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DEL CAMAL MUNICIPAL DE SAN JERÓNIMO, 2022**

Presentada por los Bach. **JAIME ARTURO BALDERRAMA ARREDONDO** y
RUBÉN DARÍO DAMIANO AMAO, para optar el título profesional de: **INGENIERO
AMBIENTAL.**

Sustentado y aprobado el **28 de setiembre de 2023** ante el jurado:

Presidente : Mg. Herbert Rodas Ccopa

Primer Miembro: : Ing. José Gabriel Barazorda Carrillo

Segundo Miembro: : Mg. María Fuentes Allccahuaman

Asesor: : Mg. Alexei Reynaga Medina

Revisión tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	5 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4 %
2	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1 %
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1 %
8	ws.moi.gov.tw Fuente de Internet	1 %
9	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	

Dedicatoria

A mi padre, por sus constantes palabras de aliento y por haberme dejado las mejores lecciones de vida. Aunque hoy no estas físicamente, te dedico este logro hasta el cielo (Papá Cefe).

A mi madre, por ser mi gran motivación y por enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo es posible.

Jaime Arturo Balderrama Arredondo

A mis queridos padres, Eugenia Amao Pichihua y Dario Damiano Reynaga por haberme dado la vida y que, gracias a su esfuerzo, su apoyo constante y por inspirar en mi la importancia de estudiar.

A mi pareja Pamela Meza Mallma, y a mi hijo Santiago Moad por su inquebrantable apoyo y motivación para completar mi objetivo.

A mis queridos familiares especialmente a Liz Damiano, Victoria Reynaga, Roxana Damiano, Alex Damiano, Augusto Damiano y Washintog Miranda por su constante apoyo.

Rubén Darío Damiano Amao

Agradecimiento

A Dios, por darme fortaleza para seguir en los momentos de decaimiento.

A nuestro asesor Mg. Alexei Reynaga Medina, por su constante soporte en la culminación de la investigación.

A los docentes de la UTEA quienes durante nuestra estadía en la universidad aclararon nuestras dudas para la conclusión de la investigación.

Con cariño, agradecimiento y respeto.

Rubén Darío Damiano Amao

A los docentes de la Universidad Tecnológica de los Andes por brindarme valiosos conocimientos.

Mi gran reconocimiento al Mg. Alexei Reynaga Medina por su paciencia y gran profesionalismo al orientarnos en todo momento con el desarrollo de la tesis.

Finalmente, agradezco a todas las instituciones que han hecho posible la culminación del presente trabajo (UTEA, UNAJMA, ANA, Agrorural y Municipalidad Distrital de San Jerónimo).

Jaime Arturo Balderrama Arredondo

Índice de contenidos

Portada.....	i
Postportada	ii
Página de Jurados	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
Acrónimos	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi
CAPÍTULO I	18
PLAN DE INVESTIGACIÓN	18
1.1 Descripción de la realidad problemática	18
1.2. Identificación y Formulación de problemas	21
1.2.1. Problema General.....	21
1.2.2. Problemas Específicos.....	21
1.3. Justificación	21
1.4. Objetivos	23
1.4.1. Objetivo General	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. Delimitación de la investigación	24
1.5.1. Espacial:	24
1.5.2. Temporal.....	24

1.5.3. Social	24
1.5.4. Conceptual.....	25
1.6. Viabilidad de la investigación	26
1.7. Limitaciones	27
CAPÍTULO II	28
MARCO TEÓRICO	28
2.1. Antecedentes de la investigación.....	28
2.1.1 A nivel internacional.....	28
2.1.2 A nivel nacional.....	31
2.1.3 A nivel local.....	34
2.2 Bases teóricas	35
2.3 Marco conceptual.....	50
CAPÍTULO III	53
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.1. Hipótesis	53
3.1.1. Hipótesis General	53
3.1.2. Hipótesis específicas	53
3.2. Método.....	54
3.3. Tipo de investigación	54
3.4. Nivel o alcance de investigación	55
3.5. Diseño de la Investigación	55
3.6. Operacionalización de las variables.....	58
3.7. Población, muestra y muestreo.....	58
3.8. Técnica e instrumentos.....	60
3.9. Consideraciones éticas	70
3.10. Procedimiento Estadístico.....	71

CAPÍTULO IV	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1. Resultados	72
4.2. Discusión de Resultados.....	87
4.3. Prueba de Hipótesis.....	90
4.3.1 Eficiencia de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	90
4.3.2 Eficiencia de almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	99
4.3.3 Comparación de la eficiencia de almidón de oca (600 mg/L) y papa (800 mg/L).....	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	114
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	115
Recursos.....	115
Cronograma de actividades	116
Presupuesto y financiamiento	117
BIBLIOGRAFÍA	120

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	58
Tabla 2 Equipos, materiales y reactivos utilizados en el laboratorio	68
Tabla 3 Prueba de jarras para el coagulante de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	69
Tabla 4 Prueba de jarras para el coagulante de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	69
Tabla 5 Pureza de almidón en las dosis aplicadas	70
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos del agua residual del camal.....	73
Tabla 7 Cantidad y porcentaje de rendimiento de almidón	74
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada con sulfato férrico....	75
Tabla 9 Eficiencia de remoción con sulfato férrico de 400 g/L.....	77
Tabla 10 Prueba de jarras para el coagulante de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	78
Tabla 11 Eficiencia de remoción para el coagulante de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	79
Tabla 12 Prueba de jarras para el coagulante de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	82
Tabla 13 Eficiencia de remoción del coagulante papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	83
Tabla 14 Pruebas de normalidad.....	91
Tabla 15 Análisis ANOVA para color (tratamiento con oca)	93
Tabla 16 Prueba ANOVA para turbidez (tratamiento con oca)	93
Tabla 17 Prueba de tukey para la determinación la dosis de almidón de oca con mayor % de remoción de turbidez.....	94
Tabla 18 Análisis ANOVA para SST (tratamiento con oca)	95
Tabla 19 Prueba de Tukey – SST.....	96
Tabla 20 Análisis ANOVA para conductividad (tratamiento con oca)	97
Tabla 21 Análisis ANOVA para pH (tratamiento con oca).....	97
Tabla 22 Prueba t de Student.....	98
Tabla 23 Pruebas de normalidad.....	100
Tabla 24 Análisis ANOVA para color (tratamiento con papa)	101

Tabla 25 Prueba de ANOVA para turbidez (tratamiento con papa)	102
Tabla 26 Prueba de tukey para la determinación la dosis de almidón de papa con mayor % de remoción de turbidez.....	103
Tabla 27 Prueba de ANOVA para SST (tratamiento con papa).....	104
Tabla 28 Prueba de tukey – SST.....	104
Tabla 29 Prueba de ANOVA para conductividad (tratamiento con papa).....	105
Tabla 30 Prueba de ANOVA para pH (tratamiento con papa)	106
Tabla 31 Prueba de t para comparar con valores iniciales	107
Tabla 32 Prueba t para muestras independientes	108
Tabla 33 Media de eficiencia de remoción con almidón de oca y papa	109
Tabla 34 Prueba t para comparar 400 mg/L de sulfato férrico y 600 mg/L de oca.....	110
Tabla 35 Cronograma de actividades	116
Tabla 36 Materiales de escritorio.....	117
Tabla 37 Materiales para la toma de muestras.....	117
Tabla 38 Materiales utilizados en el laboratorio.....	118
Tabla 39 Servicios	119
Tabla 40 Monto total	119

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mecanismos de Coagulación</i>	38
Figura 2 <i>Interacción intermolecular entre el π-electrón de la molécula de colorante y el grupo hidroxilo del polisacárido</i>	46
Figura 3 <i>Representación esquemática de la interacción de la molécula de colorante con un biopolímero</i>	47
Figura 4 <i>Diseño experimental</i>	56
Figura 5 <i>Ubicación del punto de extracción de muestra</i>	59
Figura 6 <i>Obtención del coagulante natural: Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)</i>	61
Figura 7 <i>Obtención del coagulante natural: Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</i>	64
Figura 8 <i>Ubicación de la toma de muestra</i>	67
Figura 9 <i>Variación de pH y conductividad</i>	76
Figura 10 <i>Eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST con sulfato férrico</i>	77
Figura 11 <i>Eficiencia de remoción de color</i>	80
Figura 12 <i>Eficiencia de remoción de turbiedad</i>	80
Figura 13 <i>Eficiencia de remoción de SST</i>	81
Figura 14 <i>Variación de pH y conductividad</i>	82
Figura 15 <i>Eficiencia de remoción de color</i>	84
Figura 16 <i>Eficiencia de remoción de turbiedad</i>	84
Figura 17 <i>Eficiencia de remoción de SST</i>	85
Figura 18 <i>Variación de pH y conductividad</i>	86

Figura 19 *Eficiencia de remoción con 600 mg/L de almidón de oca y 800 mg/L de almidón de papa Vs sulfato férrico.....86*

Acrónimos

NTU	: Unidades Nefelométricas de Turbidez
UPC	: Unidades de platino cobalto
SST	: Solidos Suspendidos Totales
ECA	: Estándar de Calidad Ambiental
LMP	: Límite Máximo Permisible
VMA	: Valores Máximos Admisibles
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
EPA	: Agencia de Protección Ambiental
OMS	: Organización Mundial de la Salud
SENASA	: Servicio Nacional de Sanidad Agraria

Resumen

En el presente estudio se evaluó la eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) para la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, se realizaron pruebas experimentales mediante la prueba de jarras, utilizando concentraciones de 400, 600 y 800 mg/L de cada coagulante natural, con tres tiempos de tratamiento 25, 30 y 35 minutos. Los valores iniciales de las aguas residuales fueron: Color (1178 UPC), turbiedad (549 UNT), SST (630 mg/L), conductividad (484,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH (7,74). Los resultados indican que, el almidón de *Oxalis tuberosa* removió el color, turbiedad y SST en un 96,01%, 98,74% y 97,62% respectivamente a una dosis de 600 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico y se tuvo valores finales de pH \approx 5,72 y conductividad 210,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Similarmente, el almidón de *Solanum tuberosum* removió el color, turbiedad y SST en un 95,93%, 98,58% y 96,35% respectivamente a una dosis de 800 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico y como valores finales pH \approx 5,62 y conductividad 0,422 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ambos resultados se obtuvieron con un tiempo de tratamiento de 30 minutos (velocidad rápida:160 rpm por 5 minutos, velocidad lenta: 60 rpm por 15 minutos y sedimentación: 10 minutos). Concluyendo que, el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) a 600 mg/L alcanzó una eficiencia de remoción máxima comparado con el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) a 800 mg/L, siendo 30 minutos el tiempo óptimo de tratamiento para cada coagulante.

Palabras clave: Agua residual, almidón de oca, almidón de papa, camal municipal, clarificación.

Abstract

In the present study, the efficiency of goose (*Oxalis tuberosa*) and potato (*Solanum tuberosum*) starch was evaluated for the clarification of wastewater from the San Jerónimo municipal canal. Experimental tests were carried out through the jar test, using concentrations of 400, 600 and 800 mg/L of each natural coagulant, with three treatment times: 25, 30 and 35 minutes. The initial values of the wastewater were: Color (1178 UPC), turbidity (549 NTU), TSS (630 mg/L), conductivity (484.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and pH (7.74). The results indicate that *Oxalis tuberosa* starch removed color, turbidity and TSS by 96.01%, 98.74% and 97.62% respectively at a dose of 600 mg/L with the joint action of 400 mg/L of ferric sulfate and final values of pH \approx 5.72 and conductivity 210.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ were obtained. Similarly, *Solanum tuberosum* starch removed color, turbidity and TSS by 95.93%, 98.58% and 96.35% respectively at a dose of 800 mg/L with the joint action of 400 mg/L sulfate. ferric and as final values pH \approx 5.62 and conductivity 0.422 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Both results were obtained with a treatment time of 30 minutes (fast speed: 160 rpm for 5 minutes, slow speed: 60 rpm for 15 minutes and sedimentation: 10 minutes). Concluding that, goose starch (*Oxalis tuberosa*) at 600 mg/L reached a maximum removal efficiency compared to potato starch (*Solanum tuberosum*) at 800 mg/L, with 30 minutes being the optimal treatment time for each coagulant.

Keywords: Residual water, oca starch, potato starch, municipal slaughterhouse, clarification.

Introducción

Tanto la existencia de la vida como el crecimiento de las sociedades dependen del agua, posee propiedades únicas y se encuentra en los océanos, los lagos, los ríos, la atmósfera y el suelo; está representada por más del 70% de la superficie del planeta. Es la fuente y el soporte de la vida, ayuda a controlar la temperatura global y modela la tierra con su poderosa fuerza. Sobre todo, tiene características especiales que la hacen necesaria para la vida (Cirelli, 2012). Sin embargo, durante cada uno de estos procesos, recoge contaminantes que cambian la calidad del agua. Durante el recorrido, el agua transporta estos contaminantes y organismos a diversos lugares, cuerpos de agua y espacios dedicados a la agricultura por lo que inciden de manera negativa a los ecosistemas y la calidad de vida (Bolívar et al., 2021).

Debido a las condiciones de pH y conductividad eléctrica, los contaminantes presentes en el efluente, como las partículas coloidales, no pueden sedimentarse fácilmente y, por tanto, pueden permanecer en suspensión durante prolongados periodos de tiempo. Por esta razón, se busca alternativas para tratar las aguas servidas a través del proceso de coagulación utilizando productos naturales (Makhtar et al., 2020).

Con el fin de minimizar el uso de coagulantes químicos, esta investigación demuestra el uso de productos naturales como el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de las aguas residuales del matadero municipal de San Jerónimo.

En el capítulo I, se precisa el plan de investigación, los aspectos concernientes al problema de investigación, la formulación del problema, evidenciando la importancia

del uso de los coagulantes naturales; del mismo modo, se describe la justificación y los objetivos que se quiere lograr en la investigación.

En el capítulo II, concerniente al marco teórico se ha abordado los antecedentes a nivel nacional, internacional y local sobre el uso de productos naturales como coagulantes, aplicados a la eliminación de contaminantes en aguas servidas. Finalmente, se expone las bases teóricas que sostienen el trabajo de investigación.

En el capítulo III, En cuanto a la metodología de la investigación, se presentan las hipótesis y la metodología del trabajo para alcanzar los objetivos propuestos.

En los capítulos IV, Para una mejor comprensión y entendimiento, en este capítulo se utilizaron tablas, cuadros y gráficos para ilustrar los resultados, conclusiones y sugerencias del estudio.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática

Las aguas residuales procedentes de los camales municipales se caracterizan por contener altos niveles de sustancias (sangre, grasa, orina y heces), sólidos suspendidos totales, amoníaco, nitrógeno, fósforo, aceite y grasa, bacterias fecales y patógenos (Aleksic, et al. 2020), cuando se liberan en las vías fluviales causan enormes daños al medio ambiente, ya que impulsan el crecimiento excesivo de algas, crean zonas muertas con poco oxígeno que sofocan a los peces y demás formas de vida acuática y convierten las vías fluviales en peligros para la salud pública (Burkhart, et al. 2018).

Conforme a la Agencia de Protección Ambiental (EPA), a partir del 2015, 367 mataderos vertieron aguas residuales directamente en ríos y arroyos. Muchos otros mataderos envían desechos a plantas públicas de tratamiento de aguas residuales, lo que podría aumentar la contaminación de esas instalaciones (Jun, et al. 2020); en consecuencia, el tratamiento de las aguas provenientes de

los mataderos debe implementarse adecuadamente para proteger la naturaleza y prevenir el brote de enfermedades a consecuencia de las bacterias patógenas originados por desechos animales (Azrina, et al. 2018).

En el mundo, aproximadamente el 29% de las aguas servidas provienen de los mataderos, estos se descargan directamente en los sistemas de alcantarillado comunitario, lo cual es un riesgo para la población local (Radhi, et al., 2021). En los últimos tiempos ha aumentado el conocimiento y la conciencia ambiental del público sobre el deterioro del ambiente y el bienestar de las personas. Por esta razón, las comunidades promueven las buenas prácticas y un proceso correcto de protección y preservación del recurso natural y la óptima gestión ambiental, así como el aseguramiento de la oferta de recursos y/o bienes para consumo, con características correctas para el abastecimiento de las generaciones del futuro (Gronerth, 2017).

En el Perú, el problema principal es que las aguas servidas provenientes de los camales generan malos olores y un aumento progresivo de residuos sólidos, esta situación influye de manera negativa en la población local afectando de manera directa su salud, a su vez tiene un impacto sustancial en las numerosas especies de flora y fauna; por ello, se sugieren como tratamiento los procesos de coagulación y floculación con el objetivo de reducir la materia orgánica existente dentro de estos cuerpos de agua (Espinoza, 2017). Para cuidar la salud de las personas y el ambiente, hay que tratar las aguas residuales de los mataderos y eliminar los contaminantes existentes. Se trata de un imperativo tanto práctico como higiénico, lo cual requiere intervención inmediata por los entes competentes para reducir los altos índices de contaminación

provocado por los efluentes provenientes de los camales municipales (Becerra, et al. 2016).

En este sentido, es de suma importancia tratar de forma adecuada las aguas residuales producidas por los camales. Hoy en día, la gestión de las aguas residuales debe incorporar tanto la reducción de residuos como la recuperación de recursos. Por lo general, es preferible reducir la generación de aguas residuales en su origen, utilizando tecnologías actuales que incluyan tratamientos fisicoquímicos y biológicos con el fin de aminorar en gran magnitud la contaminación por efluentes de camales municipales (Ali & Idrus, 2021).

A nivel de la provincia de Andahuaylas, la contaminación del río Chumbao provoca malestar en los pobladores. Es el principal río de esta localidad que pasa por las ciudades de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera. Se ha logrado evidenciar que este río presenta altos índices de contaminación y una de las razones de este problema son las aguas contaminadas provenientes del camal Municipal de San Jerónimo, estos efluentes son vertidos al río Chumbao provocando que sus aguas representen un riesgo para la población local. Esta problemática afecta a los diversos ecosistemas y a raíz de esta situación se plantea utilizar métodos de coagulación utilizando oca (***Oxalis tuberosa***) y papa (***Solanum tuberosum***), como alternativa ecoeficiente, que permitan clarificar las aguas provenientes del camal de San Jerónimo.

1.2. Identificación y Formulación de problemas

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los parámetros iniciales del agua residual del camal municipal de San Jerónimo?
- ¿Es la oca (*Oxalis tuberosa*) con mayor contenido de almidón que la papa (*Solanum tuberosum*)?
- ¿Cuál es la eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo?
- ¿Cuál es la eficiencia del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo?
- ¿Es el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) más eficiente que el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo?

1.3. Justificación

El proyecto en manifiesto resulta ser de considerable importancia; dado que, conduce a generar nuevas estrategias para solucionar el problema de las aguas residuales emanadas por el camal de San Jerónimo, estos efluentes se caracterizan porque concentran grandes cantidades de sustancias (sangre,

grasa, orina y heces), que generan niveles de contaminación elevados y exponen la salud de toda la población local. Frente a esta situación, se plantea disminuir el nivel de contaminación a través de la clarificación, que representa una fase de mucha importante dentro del proceso de clarificación de aguas, haciendo uso del almidón de oca y papa como alternativa ecoeficiente.

Del mismo modo, la investigación tiene implicaciones sociales, ya que contribuye a solucionar el problema de los efluentes del Matadero Municipal de San Jerónimo. En este sentido, se intentó aclarar mediante el proceso de coagulación, que implica la disminución de las propiedades fisicoquímicas del efluente del matadero. La aplicación de este proceso de coagulación con almidón de oca y papa permite reducir los niveles de turbidez, color y sólidos suspendidos totales (SST) presentes en las aguas residuales que produce el matadero municipal de San Jerónimo.

Finalmente, el tratamiento de las aguas residuales de camales es gran reto para la sostenibilidad de nuestro país; por esta razón, la presente investigación pretende dar una opción sustentable para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de un camal. Para lograr este objetivo, se hizo uso de recursos naturales que son locales a la ubicación del estudio y no son difíciles de conseguir.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia del almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) y papa (***Solanum tuberosum***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los parámetros iniciales del agua residual del camal municipal de San Jerónimo.
- Obtener almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) y papa (***Solanum tuberosum***)
- Determinar la eficiencia del almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.
- Determinar la eficiencia del almidón de papa (***Solanum tuberosum***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.
- Comparar la eficiencia del almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) y el almidón de papa (***Solanum tuberosum***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial:

Para el presente estudio se obtuvieron muestras de agua del Camal Municipal San Jerónimo, ubicado en la localidad de Huasipara-San Jerónimo-Andahuaylas-Apurímac-Perú

Ubicación Geográfica

Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 18 L

- Este (X) : 676949.37
- Norte (Y) : 8491001.92
- Altitud : 2,944 m.s.n.m.
- Región : Sierra

1.5.2. Temporal

El trabajo investigativo se realizó entre diciembre de 2022 y abril de 2023 (05 meses), este periodo del estudio involucró la redacción del proyecto, la redacción del informe de investigación y trabajos de laboratorio que permitió cumplir con los objetivos del estudio.

1.5.3. Social

La idea de este estudio fue encontrar una forma de tratar las aguas servidas del camal municipal de San Jerónimo. Dado que, estas aguas se vierten al río Chumbao, los destinatarios directos de este proyecto son los habitantes de la zona urbana formada por los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera.

1.5.4. Conceptual

- **Eficiencia:** El proceso de coagulación se ve afectada por varios componentes, como la densidad del coagulante, la concentración utilizada, la turbiedad inicial del agua, el pH del agua y la acción del coagulante (Hussain, et al. 2019).
- **Coagulante natural:** Pueden derivar de fuentes como la flora y la fauna. Los productos naturales que presentan un mayor peso molecular pueden presentar una cadena polimérica más larga (Burhanuddin, et al. 2021).
- **Agua residual:** En el ámbito de este estudio, la palabra "aguas residuales" se refiere a las masas de agua que han sido contaminadas en un grado significativo producto de las actividades humanas y que son producidas por organizaciones comerciales, industriales y manufactureras (Abdulateef, Faihaa, Ahmed, & Najem, 2020).
- **Agua residual industrial:** Las aguas residuales industriales son aquellas que provienen de cualquier actividad industrial que en su proceso de producción, transformación o manipulación se usa el agua. La actividad industrial da lugar a la producción de efluentes industriales y estas pueden incluir una gran variedad de contaminantes, lo que les confiere una composición extremadamente diversa (García-Morales et al., 2013).
- ***Solanum tuberosum*:** Este tubérculo se considera un alimento básico y de primer orden debido a su enorme uso en muchas recetas de

comida, y también representa un principal alimento consumido a nivel mundial (Aquino y Tovar, 2021).

- ***Oxalis tuberosa***: Es una planta dicotiledónea de naturaleza herbácea y tiene un sabor dulce y de consistencia harinosa. Se cultiva en elevaciones que oscilan entre los 2.800 y los 4.000 msnm; es lo suficientemente resistente como para vivir en zonas frías; el fotoperiodo óptimo para ella es de nueve horas; y se desarrolla mejor en suelos con un rango de pH que oscila entre 5,3 y 7,8.
- **Camal Municipal**: Establecimiento que cuenta con el permiso del SENASA y con las cualidades sanitarias necesarias para realizar las operaciones relacionadas con el faenado de animales (Servicio Nacional de Sanidad Agraria, 2015).

1.6. Viabilidad de la investigación

- **Viabilidad técnica**: En este estudio, se necesitó utilizar equipos de medición para evaluar los parámetros de calidad del agua. Además, se contó con una amplia información sobre el proceso de coagulación utilizando coagulantes naturales, lo cual fue el principal fundamento para llevar a cabo los experimentos.
- **Viabilidad económica**: El estudio en cuestión fue llevado a cabo utilizando fondos financieros proporcionados por los propios investigadores.
- **Viabilidad social**: El presente estudio es viable socialmente, porque beneficia a los pobladores del ámbito urbano de los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera.

1.7. Limitaciones

La adquisición de instrumentos para medir los parámetros fisicoquímicos del efluente constituyó el mayor obstáculo para el desarrollo de este estudio, principalmente para realizar la prueba de jarras (Jar-test); lo cual, para cumplir con dicho objetivo fue necesario tomar las muestras de agua en la zona establecida y realizar la prueba de jarras en el laboratorio de la UNAJMA, ya que reúne las condiciones necesarias para analizar las muestras de agua y realizar las pruebas de tratamiento con almidón de oca y papa.

Otra limitación, es la complejidad de tratar las aguas residuales del Camal Municipal a gran escala, ya que la investigación se enfatizó en utilizar coagulantes naturales a base de almidón de *Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosum*) a escala laboratorio. En ese sentido, se planteó utilizar estos procesos de coagulación con el fin de informar a la población sobre las alternativas que se pueden tomar para clarificar aguas residuales procedentes de un camal.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Entre las investigaciones realizadas a nivel internacional, se han considerado las siguientes:

Ortiz Alcocer et al. (2018), en su trabajo investigativo se planteó como objetivo utilizar fécula de yuca como coadyuvante en la remediación de efluentes domésticos. Este estudio examinó la eficacia del proceso de coagulación para eliminar la turbidez y el color en el tratamiento de aguas servidas. Se utilizó almidón de yuca (polímero natural), junto con coagulantes como $Al_2(SO_4)_3$ y $Ca(OH)_2$. En total se analizaron 216 muestras de efluentes domésticos, de las cuales 54 se utilizaron para determinar las concentraciones óptimas de coagulante y 162 para formular las mezclas. La mezcla de 250 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ y 750 mg/l de almidón

de yuca, partiendo de una turbiedad inicial de 24 NTU y un color inicial de 958 CU, produjo la mayor eficacia. Tras el tratamiento, la turbidez se redujo en un 75% y el color en un 78%, dando como resultado una turbidez de 6 NTU y un color final de 210 CU. Se concluye que, la acción conjunta de sulfato de aluminio y almidón de yuca resulta ser muy eficaz para minimizar la turbidez y el color en aguas residuales domésticas.

Maurya y Daverey (2018) en su estudio tuvieron como propósito eliminar la turbidez, la DQO y los SST en aguas residuales municipales, utilizando cuatro coagulantes naturales derivados de fuentes vegetales: jugo de tallo de plátano, harina de cáscara de plátano, harina de hoja de neem y harina de semilla de papaya. Como parte de su metodología, utilizaron el análisis FTIR y llevaron a cabo experimentos a temperatura ambiente sin ajustar el pH inicial. La mejor remoción de turbidez se consiguió con polvo de cáscara de plátano (59,6%) a la dosis de 400 mg/L. Se concluye que, los más efectivos para la eliminación de SST es el polvo de semilla de papaya que elimina en un 66,66 % y el que mejor elimina la DBO es el jugo de tallo de banano, que reduce en un 66,67 %.

Desta y Bote (2021) en su artículo titulado “Tratamiento de aguas residuales con un coagulante natural (semillas de *Moringa oleifera*): optimización mediante la metodología de superficie de respuesta”, tuvo como objetivo realizar un experimento sobre la base de un diseño aleatorio de carga de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 y 0,6 g/500 ml de polvo extraído de semillas de Moringa. El experimento examinó la DQO, el color y la turbidez de efluentes ácidos y básicos. La tasa máxima de erradicación del color y la turbidez se alcanzó con 0,4 gramos por 500 ml de muestra de aguas

residuales. A su vez, las mayores reducciones de turbidez, color y DQO para las aguas servidas ácidas fueron del 98%, 90,76% y 65,8%, mientras que para las aguas servidas básicas fueron del 99,5%, 97,7% y 65,82%, respectivamente. Se concluye que, el uso de polvo de semilla de Moringa resulta eficaz para reducir el color, la turbidez y la DQO.

Rozo y Cristancho (2017) en su estudio tuvo como objetivo determinar la efectividad de dos coagulantes naturales: yuca y plátano, en el tratamiento de aguas residuales domésticas de un Parque Agroindustrial. Se examinaron los parámetros fisicoquímicos de pH, color, turbidez y los SST, y se llevó a cabo el proceso de coagulación utilizando el método de prueba de jarras. Se determinó que el mejor resultado se obtuvo utilizando 20 ml de almidón de yuca a una concentración de 252 ppm, logrando una eficacia total del 38,1%. Se obtuvo una turbidez residual de 60 FAU, un color residual de 508 (455 Pt-Co), un SST de 62 (mg/L) y un pH de 11,45. Por otro lado, al utilizar 18,5 ml de almidón de plátano a una concentración de 252 ppm, se alcanzó una eficacia total del 60,6%. Esto resultó en una turbidez residual de 52 FAU, un color residual de 447 (455 Pt-Co), un SST de 59 (mg/L) y un pH de 11,29. Los resultados indicaron que los almidones evaluados no presentaron la eficacia necesaria para actuar como el coagulante primordial en el tratamiento de aguas servidas de tipo doméstica.

Cainaba y Delgado (2020) tuvieron como objetivo emplear coagulante a base de ***Solanum tuberosum*** para clarificar aguas residuales sintéticas, la metodología aplicada fue de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo y haciendo uso de la prueba de jarras para la experimentación.

Durante la obtención de la papa se encontró que el rendimiento de la materia seca fue del 20.1%; por otra parte, la eliminación de la turbidez del agua artificial a un pH5 fue la mejor de todos los pH que se emplearon, con una eficacia superior al 90%. El experimento con mayor porcentaje de eliminación se logró en las circunstancias de pH5 y una turbidez inicial de 801 NTU con una dosis de 20 ml. El resultado fue una reducción de la turbidez a 10,44 UNT; por tanto, la prueba tuvo éxito con una eficacia del 98,70%.

2.1.2 A nivel nacional

Irigoín Sánchez y Monteza Chamaya (2020), en su investigación evaluaron de cómo el pH del agua y el aditamento de diferentes cantidades de semillas de tamarindo afectan la eliminación de materia orgánica en las aguas provenientes del camal José Leonardo Ortiz. Para obtener la muestra, se recolectaron 2,5 L de agua residual durante 3 horas a intervalos de una hora, y luego se homogeneizó toda la muestra obtenida. Se utilizó el ANOVA multifactorial para evaluar y analizar estadísticamente los datos experimentales recopilados en el estudio. Se examinaron los parámetros de materia orgánica, turbidez, DBO5 y conductividad a niveles de pH de 6, 7,5 y 9, utilizando concentraciones de 200 ppm, 400 ppm y 600 ppm de coagulante de semillas de tamarindo, se efectuó la prueba de jarras para establecer la cantidad óptima de coagulante. Después de llevar a cabo los experimentos se concluye que, la mejor dosis de semillas de tamarindo fue de 600 ppm, logrando una eficiencia del 43,46% en turbidez, 34,68% en DBO5 y 57,83% en DBO5.

Rivera Cardenas (2020) en su trabajo investigativo tuvo como propósito comparar el rendimiento de un coagulante natural (cáscara de papa) y coagulante químico (sulfato de aluminio) para reducir la turbidez. El tratamiento se simuló a través de la prueba de Jarras, con cuatro repeticiones utilizando dosis de 200, 250 y 300 mg/L de ambos coagulantes. La turbidez residual inicial del agua fue de 438 NTU antes del tratamiento. Como resultado de la aplicación de ambos coagulantes se determinó que, la mejor dosis para *Solanum tuberosum* fue de 250 mg/L que resultó una remoción de (59,65%), mientras que la mejor dosis para sulfato de aluminio fue de 300 mg/L que resultó una remoción de 96,47%.

Gonzales Gutierrez et al. (2022) en su estudio utilizó un coagulante natural *Opuntia ficus-indica* y el sulfato de aluminio como coagulante químico, para minimizar la presencia de contaminantes en las aguas residuales producidas por el matadero del distrito de San Vicente. Se analizaron los siguientes contaminantes: sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, conductividad, pH, DBO5 y DQO. Para realizar el experimento se utilizó la prueba de jarras, y como muestra cuarenta litros de aguas residuales. Se utilizó ANOVA con un intervalo de confianza del 95% para evaluar en qué medida el estudio cumplía sus objetivos. Los coagulantes de acción combinada (*Opuntia ficus-indica* y sulfato de aluminio) a 700 mg/l, mezclados durante 30 minutos a 20 rpm, eliminaron el 97% de la turbidez, el 78% del DBO5, el 59% del DQO y el 98% del SST, reduciendo la conductividad en un mínimo de 1440,33 us/cm y el pH en 7,0. La conclusión final es que, los coagulantes (*Opuntia ficus-indica* y

sulfato de aluminio) funcionan bien juntos para eliminar los contaminantes de las aguas producidas por el camal del distrito de San Vicente.

Massa Palacios (2021) en su investigación se propuso como objetivo investigar la eficacia de las semillas de guanábana como floculante natural en la depuración de aguas residuales domésticas. El parámetro que se midió fue la turbidez, y para medir los niveles de coagulación y floculación se utilizó el Jar Test. Se recogió una muestra de 10 L de aguas residuales y se utilizaron ocho concentraciones variadas del floculante natural de semillas de guanábana (0,0 g, 0,4 g, 0,8 g, 1,2 g, 1,6 g, 2,0 g, 2,4 g y 2,8 g), para determinar la concentración más eficaz se utilizó la prueba de jarras, y ANOVA para evaluar la hipótesis. Se concluye que, la dosis óptima de semilla de guanábana fue de 0,8 g/500 ml, equivalente a 1600 mg/l, logrando remover el 54,78% de la turbidez.

Medina-Valderrama et al. (2020) en su estudio tuvieron como objetivo optimizar la aplicación del proceso Fenton para eliminar los contaminantes de las aguas residuales del camal de Chota, se utilizó diferentes concentraciones de FeSO_4 y H_2O_2 . La conductividad (1560 $\mu\text{S/cm}$), los sólidos totales (3361 mg/L), la turbidez (327 NTU) y el pH (7,6) fueron los valores iniciales que se lograron obtener de las aguas provenientes del matadero de Chota. Para el procedimiento experimental se empleó la prueba de jarra, con una velocidad de 30 rpm, y se descubrió que 18 minutos es el tiempo de reacción más eficiente; no obstante, la dosis óptima de FeSO_4 y H_2O_2 a un pH de 3,22 es de 2110,55 mg/L y 1092,67 mg/L, respectivamente. Tras el tratamiento, se obtuvieron los siguientes resultados: conductividad (6063 $\mu\text{S/cm}$), sólidos totales (412

mg/L), turbidez (7,4 NTU) y pH (7,1). Además, llegaron a la conclusión que, el uso de FeSO₄ varía entre 500 mg/L a 3300 mg/L y el uso de H₂O₂ varía entre 150 mg/L a 6000 mg/L, su valor es proporcional a la complejidad de la sustancia a tratar; esto incluye las aguas residuales de canal.

2.1.3 A nivel local

Referente a los antecedentes locales, se han encontrado los siguientes estudios:

Nolasco (2020), su estudio tuvo como objetivo explorar el impacto que la goma de tara también conocida como *Caesalpinia spinosa* en el tratamiento de las aguas del río Chumbao. La cantidad total de la muestra fue de 1,8 litros, y se recogió del río Chumbao en 03 puntos distintos a lo largo de su recorrido. Esta investigación hace uso de un enfoque cuantitativo; es un ejemplo de un tipo de investigación aplicada y nivel explicativo. Se efectuó la prueba de jarras y se midió y analizó el color, el pH y la conductividad de la solución como parte del proceso. El estudio se realizó con concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L, respectivamente. En conclusión, la goma de tara posee efectos significativos en la disminución de la turbidez, color y conductividad, en un 81%, 77.92 % y 79.59% de eficiencia respectivamente

Choque (2016) realizó su trabajo con la intención de evaluar dos especies cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica* y la capacidad flocculante que estas tienen en la clarificación de aguas residuales artificiales. En la investigación se utilizaron metodologías

cuantitativas, de diseño experimental, de alcance descriptivo-explicativo y transversal. El etanol, el NaCl 0,25M y el agua fueron los tres disolventes que se utilizaron en la extracción de la muestra, que sumó 20 gramos de coagulante. Para preparar la solución, primero se disolvieron 25 gramos del sólido en 500 mililitros de agua destilada, y luego se agitó la mezcla durante un total de 30 minutos. Después de agitar la mezcla durante media hora, se produjo el agua sintética disolviendo 30 mililitros de solución madre de caolín en 6 litros de agua del grifo normal. El pH, la alcalinidad total, la dureza total y la DBO son los parámetros que se midieron y analizaron. Luego de haber tratado el agua residual artificial con el coagulante natural, los resultados fueron los siguientes: el pH aumentó ligeramente de 6,61 a 7,58, mientras que la dureza y la alcalinidad no mostraron grandes diferencias ($p > 0,05$). En conclusión, la DBO es el parámetro que evidenció una diferencia notoria con un resultado de $p\text{-value} < 0,05$.

2.2 Bases teóricas

Papa

Según Pallo, et al., (2021), la papa pertenece a la especie herbácea, género *Solanum*, familia de las solanáceas. Es un producto originario de la región que pertenece el altiplano sur del Perú. Se utiliza principalmente como alimento básico, pero también tiene una serie de valores medicinales. En nuestro país, existen alrededor de 3,500 variedades, las cuales se diferencian entre sí en aspectos como: Sabor, tamaño, color, volumen, tiempo de cosecha, entre otros.

Taxonomía de la papa (*Solanum tuberosum*)

Aksoy, et al. (2021), especifica la taxonomía de la papa de la siguiente manera:

- Reino : Plantae
- División : Magnoliophyta
- Clase : Magnoliopsida
- Sub clase : Asteridae
- Orden : Solanales
- Familia : Solanaceae
- Género : Solanum
- Especie : ***Solanum tuberosum***

Almidón de papa

De acuerdo a González, et al. (2018), la fécula de patata es el almidón extraído de las patatas. El almidón se convierte en una consistencia ligera, pulverulenta y similar a la harina una vez que se seca, y es un ingrediente común que aparece en varias recetas. Para hacer almidón de este producto, se pela las papas, luego se tritura, se deja decantar y finalmente se deja secar para obtener polvo.

Oca

Según Yenque et al. (2014), es un tubérculo propio de los andes, procedente del Sur del Perú, su cultivo se realiza entre 3200 y 3900 m.s.n.m., es agradable y muy dulce; más aún si se deja solear. Contiene carbohidratos, proteínas y principalmente vitamina C (p.2).

Almidón de Oca

El almidón de oca es un polímero natural o polisacárido, lo que representa que, es una cadena larga que comprende un tipo de molécula. la Oca es un tubérculo, el segundo más cultivado después de la papa; tiene una consistencia robusta y resistente a las heladas, rico en proteínas con un buen balance de aminoácidos (Chuquilín et al., 2020).

Taxonomía de la Oca

Valdivieso & Mollinedo (2021), especifica la taxonomía de la oca de la siguiente manera:

- Reino : Plantae
- División : Magnoliophyta
- Clase : Magnoliopsida
- Orden : Geraniales
- Familia : Oxalidaceae
- Género : Oxalis
- Especie : ***Oxalis tuberosa***

Coagulación

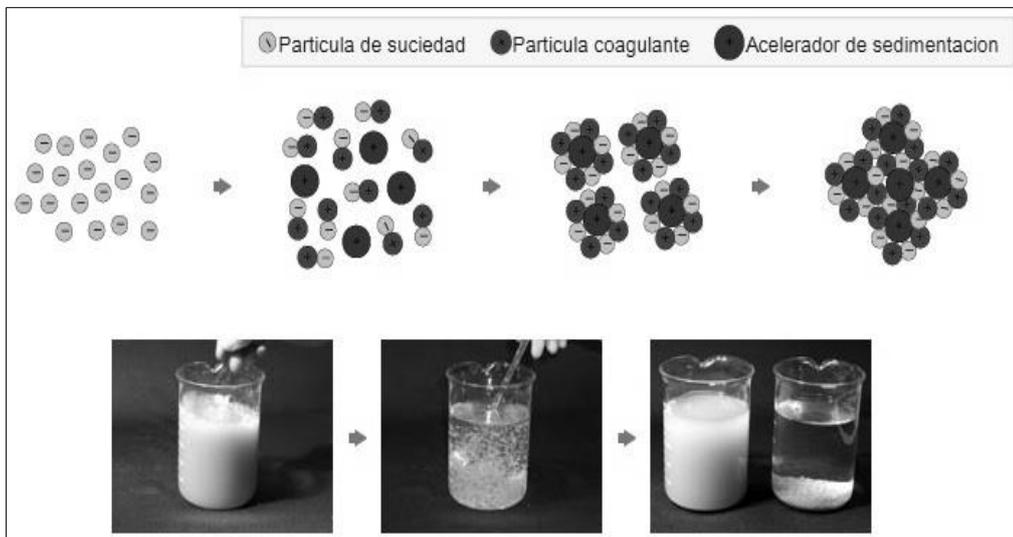
La coagulación es uno de los métodos comunes más utilizados por las PTAR, esto precisamente para proporcionar agua potable limpia y segura a los clientes. Este método se usa a menudo junto a procesos que incluyen filtración, desinfección y sedimentación para eliminar contaminantes seleccionados del agua (Choque et al.,2018).

Mecanismo de Coagulación

Las partículas que están en suspensión, así como las que están presentes en el agua, son el objetivo de este procedimiento, que trata de desestabilizarlas. Este mecanismo se puede verificar mejor en la siguiente figura (Oñate & Chinchilla, 2021).

Figura 1

Mecanismos de Coagulación



Nota. Información obtenida de: Ibáñez (2017)

Clases de Coagulantes

Mesa et al., (2018), manifiestan que existen muchas clases de coagulantes, los que destacan son:

Sulfato de aluminio, está disponible en varias formas: molido, triturado o en bloque. Cuando se agrega al agua naturalmente alcalina (que generalmente contiene bicarbonato de calcio), el sulfato de aluminio produce un flóculo de hidróxido de aluminio.

Sulfato férrico, es un tipo de coagulante de hierro que es el segundo mejor después del sulfato de aluminio. Esta combinación química se usa a menudo junto con el cloro y puede proporcionar en comparación del sulfato de aluminio un flóculo más denso. Sin embargo, produce un lodo de hidróxido significativamente más pesado.

Cloruro férrico, el cloruro férrico es una alternativa al sulfato férrico, pero es la opción menos popular, ya que el cloruro puede aumentar la corrosividad del agua.

Aluminato de sodio, el aluminato de sodio es una combinación de óxido de sodio y óxido de aluminio. Las formas sólidas de esta sustancia química suelen contener entre un 70 y un 80 % de aluminato de sodio, mientras que las formas líquidas contienen alrededor de un 30 % de aluminato de sodio.

Los factores principales de la coagulación

Según Fernández (2021), los principales parámetros que intervienen directamente en la coagulación son: el tipo y dosis de coagulante, características del agua como: tipo y cantidad de materia en suspensión, temperatura, pH, tiempo, métodos de mezcla, etc. De estos dependerá la calidad del producto total y se podrá concluir si ha sido eficiente al 100%. Al respecto expone:

Los niveles de pH, sales y alcalinidad en el agua son formas de medir las cantidades de partículas cargadas positivamente (cationes) y partículas cargadas negativamente (aniones) en el agua; como consecuencia de ello, la cantidad de coagulantes para eliminar la turbidez del agua depende de la

interacción de los tres factores. El rango de pH del agua representa el factor individual más importante en la coagulación adecuada.

Sales, son compuestos que contienen tanto un catión como un anión. En el agua, el catión y el anión se separan y pueden interactuar con otras partículas cargadas. Todas las aguas naturales contienen alguna concentración de cationes y aniones, como calcio, sodio, magnesio, hierro, manganeso, sulfato, cloruro, fosfato y otros. Algunos de estos iones pueden afectar la eficiencia de coagulación.

Turbidez, el grado y tipo de turbidez del agua tiene un impacto significativo en la coagulación. La turbidez que se encuentra en las aguas superficiales naturales está determinada por un gran número de tamaños de partículas que podemos encontrarlo en diferentes concentraciones.

La temperatura, en el agua fría dificulta la coagulación; esto implica que, cuando la temperatura del agua desciende, prácticamente todos los procesos químicos que tienen lugar en el agua proceden a un ritmo más lento.

Etapas o Fases de la Coagulación.

Rodríguez y gallego (2019), señalan que, para clarificar las aguas residuales mediante el uso de coagulantes, se realiza en un tiempo casi instantáneo, en el cual se destacan los siguientes procesos:

- Se realiza la desestabilización de las partículas en suspensión.
- Se logran formar compuestos químicos poliméricos.
- Se remueven las cadenas poliméricas por los coloides.
- Existe la absorción de coloides.

- Existe una acción de barrido.

Tipos de Coagulación

Según Valeriano y Matos (2019), añaden que: Los productos químicos coagulantes vienen en dos tipos principales: Coagulantes primarios y auxiliares de coagulación. Las cargas eléctricas de las partículas de agua son neutralizadas por los coagulantes primarios, lo que hace que las partículas se aglutinen. Los auxiliares de coagulación agregan densidad a los flóculos de sedimentación lenta y agregan resistencia a los flóculos para que estos no se rompan en el proceso de mezcla y sedimentación.

Los coagulantes primarios siempre se utilizan en el proceso de coagulación/floculación; mientras que, los auxiliares de coagulación, no siempre son necesarios y generalmente se usan para reducir el tiempo de floculación.

Químicamente, los coagulantes son aquellos que se identifican por la presencia de sales metálicas dentro de este grupo encontramos al alumbre; por otro lado, los polímeros se caracterizan por ser compuestos orgánicos que son hechos por el hombre los cuales se suelen formar por una cadena larga de moléculas diminutas. Los polímeros puede que sean catiónicos (cargados positivamente), aniónicos (cargados negativamente) o no iónicos (cargados neutralmente). Las diferentes fuentes de agua necesitan diferentes coagulantes, pero los más utilizados son el alumbre y el sulfato férrico.

Así mismo, según Baoyu, et al. (2019) señala que se presentan por tipos: **Coagulación por absorción**: se caracteriza porque el agua en estas

condiciones se le adiciona un coagulante para lograr remover partículas en suspensión, en ese sentido si al agua se le adiciona un coagulante se logran formar coloides lo cual conlleva a la formación de flóculos de manera instantánea. **Coagulación por Barrido:** en este proceso de coagulación, el agua se caracteriza por presentar una turbiedad con un nivel bajo y unas partículas coloidales pequeñas, visto de este modo las partículas se forman por un precipitado de cloruro férrico y sulfato de aluminio.

Remoción de turbiedad

Ortiz, et al. (2018), señalan que el material particulado provoca la turbidez del agua. Cuando las partículas se disuelven o suspenden en agua, dispersan la luz y le dan al agua una apariencia turbia. Las partículas pueden incluir: algas, arena, limo, arcilla, hierro precipitado, bacterias, materia orgánica fina etc.

Las fuentes de sedimentos pueden ser naturales o inducidas por el hombre, y las partículas que ocasionan al enturbiamiento del agua suelen ser diminutas y no pueden verse a simple vista. Las fuentes de sedimentos naturales incluyen la erosión de las orillas de los arroyos, áreas de canales de arroyos o áreas de tierras altas. Las acciones humanas, como la agricultura y las actividades de desarrollo, pueden acelerar el proceso de erosión.

El proceso de coagulación-floculación tiene por propósito desestabilizar los coloides en el agua. Este proceso, combinado con la sedimentación y la filtración reducen la turbidez. La coagulación hace que las partículas se desestabilicen, y la floculación es la acumulación de las partículas desestabilizadas y se unen a simple vista.

Floculación

La floculación es un proceso que se usa en el tratamiento de aguas, donde los sólidos forman grupos más grandes o flóculos, para luego ser eliminados. Esto puede ocurrir naturalmente o con la contribución de agentes químicos. Es un método que tiene como objetivo remover sustancias contaminantes en aguas residuales. Uno de los requisitos en el tratamiento de aguas es la eliminación de sólidos en suspensión, que son pequeñas partículas sólidas que afectan el color del agua y transportan impurezas a nuestras fuentes naturales de agua, como los ríos y el océano (Choque, et al.,2020).

Tipos de Floculación.

Murrillo, et al. (2020), señala que los tipos de floculación son:

Floculación Pericinética. Las partículas que se mueven al azar en una suspensión chocarán con otras partículas de vez en cuando, y esto puede conducir a la formación de flóculos, un proceso conocido como floculación pericinética. Así mismo, referente a la Floculación Ortocinética: Refiere en los choques de partículas producto de la agitación del agua, este tipo de floculación es generado por un tipo de energía exterior (diferente a la masa de agua).

Parámetros de la Floculación

Según Wu, et al. (2020) señalan que, las características de la floculación pueden desglosarse en los siguientes parámetros: Floculación Ortocinética (Se considera la agitación (Mecánica o Hidráulica)), tiempo de retención, gradiente de velocidad, número de colisiones, densidad y tamaño de flóculos, y como último parámetro se tiene al volumen de lodos.

Factores que influyen en la floculación

Según Czemińska, et al. (2021) mencionan que, la fuerza de agitación, el tiempo de floculación, las fluctuaciones del caudal y el número de compartimentos de la unidad son elementos que influyen en el resultado final de la floculación.

Floculantes

Alarcón y Espinoza (2020) mencionan que, los floculantes se diferencian de los coagulantes en que a menudo estos son polímeros. Pueden variar en tamaño molecular (peso) y densidad de carga. Gracias al empleo de este producto, el profesional experto en la materia logra capturar partículas orgánicas, para el tratamiento de las aguas.

Coagulantes y Floculantes Naturales

Según Zaman (2018), hasta la fecha se han realizado varias investigaciones sobre el uso de verduras, tubérculos y otros alimentos similares para la depuración de aguas servidas debido a la capacidad de coagulación y floculación que poseen estos alimentos. Algunos floculantes naturales se derivaron de plantas como el almidón de yuca, la semilla de

Moringa oleifera, cáscara de Plantano, la semilla de Cassia obtusifolia, la semilla de Surjana, la semilla de maíz, la semilla de Tamarindus indica, la semilla de Jatropha curcas, la nuez de Strychnos potatorum, las hojas de pandan, la harina de maíz, etc. A continuación, se detallarán la eficiencia de algunas de estas:

Almidón de yuca: También llamado almidón de tapioca, se produce principalmente a partir de las raíces de la planta de yuca. La eficiencia de la tasa de eliminación del almidón gelatinizado es del 55 al 60 % y la eficiencia de eliminación de las muestras injertadas es del 65 al 98 %.

Moringa: La semilla de Moringa oleífera, se utilizan para tratar varios tipos de aguas servidas y la eficiencia de eliminar el color y la turbidez es mayor a 90%.

Tamarindus indica: La eficiencia de reducción de la turbidez con el extracto de pulpa cruda de la fruta Tamarindus indica, mostró un rango de 64 a 99%. El polvo extraído de semillas de Tamarindus indica maduras y secas utilizadas para la reducción de la turbidez de las aguas contaminadas, tiene una eficiencia máxima de 91,16 % cuando se ayuda con un 0,5 % de PAM (poliacrilamida).

Ventajas del uso de coagulantes y floculantes

Según Kweiner y Rathilal (2019), añaden que, son productos orgánicos que no contaminan al medio ambiente y no contienen metales; es decir, no aportan metales a las aguas y son eficaces en más del 90%. Está determinado por PH neutro o alcalino, bajo costo a diferencia de productos químicos, no

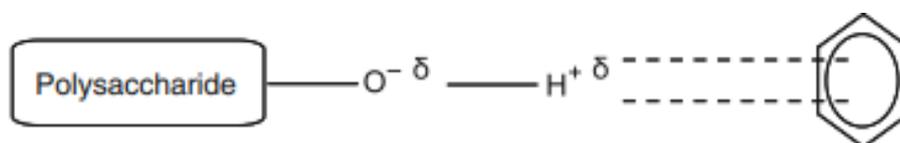
atentan contra la salud de las personas, son sostenibles en todo su ciclo de vida, fácil envasado, transporte, almacenamiento, etc.

En general, los coagulantes naturales como el almidón de papa y oca presentan dos tipos de mecanismos de eliminación de contaminantes (i) adsorción y neutralización de la carga y (ii) adsorción y puenteo entre partículas. Ya que su peso molecular es alto y contienen una estructura de cadena larga, tienen un gran número de sitios activos. Adsorción y neutralización de carga se refiere a la adsorción de dos iones de carga opuesta, mientras que la formación de puentes entre partículas se produce cuando la cadena de polisacáridos del coagulante absorbe las partículas (Zafar et al. 2015).

Para el caso de moléculas de colorante, la formación de puentes con los polisacáridos (amilosa/amilopectina) se debe a la interacción del sistema π -electrón de los colorantes y el grupo OH- de los polisacáridos (Figura 2).

Figura 2

Interacción intermolecular entre el π -electrón de la molécula de colorante y el grupo hidroxilo del polisacárido



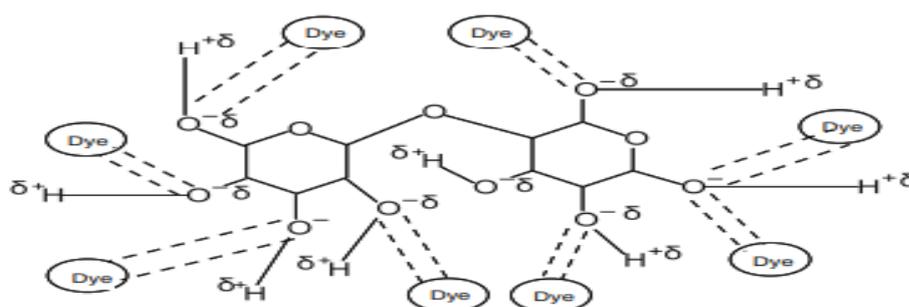
Nota. Obtenido de Yoshida et al. (1964), citado en Zafar et al. (2015).

En ese sentido, el almidón de papa con grupos hidroxilo a lo largo de la cadena de polisacáridos proporciona un gran número de sitios de adsorción disponibles que podrían conducir a la neutralización de la carga o a la

formación de puentes de impurezas coloidales, provocando un rápido desarrollo del tamaño de los flóculos (Aziz y Sobri, 2015). Como se muestra en la Figura 3, en el caso del polisacárido y la molécula de colorante. Los biopolímeros pueden comportarse como coagulantes (neutralización de la carga) y como floculante (puente) al mismo tiempo, dependiendo de la de los coloides, el pH de la suspensión y las condiciones experimentales (Zafar et al. 2015).

Figura 3

Representación esquemática de la interacción de la molécula de colorante con un biopolímero



Nota. Obtenido de Zafar et al. (2015).

Por otro lado, la sobredosificación del coagulante que va más allá de la concentración crítica podría provocar la desestabilización de las partículas coloidales (Aziz y Sobri, 2015) y promover la disminución de la eliminación de contaminantes en el tratamiento del agua residual (Yusoff et al., 2018). Añade Zin et al. (2016) que, una dosis mayor de polímero envolverá la partícula suspendida y permanecerá en suspensión, lo que podría explicar que aumenta el contenido de SST a mayor dosis del almidón.

En cuanto a los valores de pH, la alta eficiencia de eliminación de turbidez, SST y color, se da en condiciones acidas, debido a la protonación

de algunos grupos funcionales como carboxilo e hidroxilo, formando una alta densidad de carga positiva del almidón que ejerce fuertes fuerzas electrostáticas sobre partículas coloidales, cargadas negativamente en condiciones ácidas (Makhtar et al., 2020). Por lo tanto, las cadenas de polímero unieron esas partículas para formar puentes que mejoran la eliminación de los parámetros tratados. Este proceso de formación de puentes, se da hasta que se formen grandes flóculos y sedimentan rápidamente. Como señala Zafar et al. (2015), la protonación de los grupos funcionales del biopolímero en una solución ácida, hace que el biopolímero cargado positivamente actúe como un polielectrolito catiónico, donde la eliminación del color y la turbidez aumenta con el incremento de la concentración de ese polielectrolito.

Marco Legal

Según el diario oficial El Peruano (2022), se explican las siguientes leyes y decretos:

Ley N°28611 - Ley General del Ambiente

La dedicación del Estado al tratamiento de las aguas residuales puede verse en el conjunto de la legislación medioambiental, todo ello con el objetivo de reutilizarlas, sin poner en vulnerabilidad la salud humana, vigilando las enfermedades y, en consecuencia, trabajando para reducir la contaminación ambiental. Esta legislación garantiza que el derecho ambiental se ejerza, que mantenga su equilibrio y que se desarrolle de forma adecuada. El objetivo general de esta legislación es garantizar el desarrollo sostenible.

Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos

La ley en mención, pretende regular la utilización y gestión del agua subterránea, superficial y continental. Esta ley es entendida también como la norma que permite conservar y proteger las cabeceras de las cuencas según su misma vulnerabilidad. Entre sus principios más importantes se tiene a la valoración del agua, la participación de las personas y finalmente el principio de sostenibilidad.

Ley N°27314 - Ley General de Residuos Sólidos

Esta legislación proporciona a todos los que conforman la sociedad, los derechos, deberes, poderes y obligaciones necesarios para cuidar y gestionar los residuos sólidos de forma que se salvaguarde la buena salud de la población, como también del medio ambiente. Abarca todas las operaciones, procedimientos y actividades referidas con la gestión y el tratamiento de los desechos sólidos, desde su generación hasta su eliminación. Comprende diversas fuentes de residuos de las esferas demográfica, social y económica.

Decreto Supremo N°001-2010-MINAGRI – Reglamento de ley de Recursos Hídricos.

Por medio del presente, se crea el reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, el cual es obligatorio para todas las entidades nacionales, regionales y municipales que cuenten con la calificación necesaria para gestionar y administrar los recursos hídricos.

Decreto Supremo N°004-2017-MINAM – Aprueban ECA para agua

En esta recopilación de la normativa se realiza la modificación y eliminación de ciertos valores, categorías, parámetros y subcategorías sobre los ECA, y definiendo la permanencia de los demás ECA; por cuanto, continúan vigente mediante los decretos supremos que fueron aprobados.

Decreto Supremo N°003-2010-MINAM – Aprueban los LMP para los efluentes de plantas de tratamientos residuales domésticas o municipales.

En el contexto de las emisiones, los "límites máximos permitidos" (LMP) son los límites superiores de las concentraciones o grados de elementos, sustancias químicas o factores físicos, químicos y biológicos que pueden perjudicar, y de hecho lo hacen, a las personas y los ecosistemas cuando se superan. Los organismos del Sistema de Gestión Medioambiental y el MINAM tienen autoridad para hacer cumplir su normativa.

2.3 Marco conceptual

Dosis óptima del coagulante

Según Febrina, et al. (2020), La cantidad exacta de coagulante que debe administrarse al efluente se denomina dosis óptima. También es un procedimiento en el que un experto elimina los microorganismos del agua.

Prueba de jarras

Según Ortiz y Ángeles (2019), la prueba de jarras se emplea para poder evaluar la optimización de la coagulación-floculación, debido a que sus resultados son aceptados para investigaciones o estudios de carácter científico.

Así mismo, señala que muchos autores siguen las normas ASTM D2035, para determinar dicha optimización. Gracias a este tipo de prueba se logra determinar la concentración óptima de coagulantes, floculantes, PH, entre otros.

Granulometría

Dussán, et al. (2019) manifiestan que el tamaño de las partículas se refiere a la gama de dimensiones a través de las cuales un grano de cualquier cosa, como el carbón activado, arena, antracita, zeolita y la extensa gama de otros medios granulares, puede dividirse en piezas más pequeñas. Es un método para separar una mezcla de granos o partículas en dos o más fracciones de tamaño, los materiales grandes quedan atrapados sobre una criba, mientras que los materiales más pequeños pueden pasar y ser retenidos por otras cribas inferiores.

Parámetros fisicoquímicos

Según Ma, et al. (2020) señalan que, además del pH, los factores fisicoquímicos que deben tenerse en cuenta son la temperatura, la turbidez, la conductividad, la alcalinidad total, el total de sólidos disueltos y en suspensión, la DBO, DQO, el OD, el carbono orgánico total, el sulfato, el nitrato y el fosfato.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Bolívar, et al. (2021) señala que, se considera sólido suspendido total cualquier partícula con un tamaño inferior a dos micras. La gran mayoría de los sólidos suspendidos totales están formados por elementos inorgánicos; no obstante, las algas y las bacterias también pueden contabilizarse como SST.

La arena, los sedimentos y el plancton son ejemplos de SST que flotan o están suspendidos en el agua. Las partículas orgánicas que se liberan en el agua cuando las fuentes de agua están contaminadas por plantas o animales en desintegración suelen ser sólidos en suspensión.

pH

Para establecer si una sustancia es ácida o básica se puede medir su pH. La escala de pH tiene un valor entre 0 y 14. La acidez extrema está representada por un valor de pH cercano a cero. El jugo de limón con un pH de alrededor de dos, es un buen ejemplo. Un pH alto, cercano a 14 es muy básico. Las soluciones básicas son las conocidas como alcalinas. La lejía es una solución muy básica. Mientras que, un pH alrededor de siete es neutral. El agua pura tiene la misma cantidad de iones de hidrógeno e hidróxido, lo que hace que el pH esté perfectamente equilibrado. Es por eso que el agua pura tiene un pH neutro de siete (Brookshire, 2019).

Turbidez

La turbidez es un parámetro en el cual se busca medir el grado de transparencia que tiene el agua, del mismo modo la turbidez del agua permite establecer si el líquido presenta un cierto nivel de partículas en suspensión (Parra, et al. 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) son eficientes en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022

3.1.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros iniciales del agua residual del camal municipal de San Jerónimo sobrepasan los límites de los VMA y ECA para agua.
- La oca (*Oxalis tuberosa*) presenta mayor contenido de almidón que la papa (*Solanum tuberosum*)
- El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

- El almidón de papa (***Solanum tuberosum***) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.
- El almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) es más eficiente que el almidón de papa (***Solanum tuberosum***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

3.2. Método

Respecto al método de investigación, el estudio se caracterizó por tener un método experimental, este hace referencia a la observación que realizan los individuos y el control que estos tienen sobre cada elemento participante del estudio, simulando ciertas situaciones específicas y generando distintos tipos de casos.

3.3. Tipo de investigación

Debido a la naturaleza de la investigación realizada, este estudio se ajusta a los parámetros metodológicos necesarios para un estudio de investigación aplicada. Se abastece por el tipo básico o puro, ya que aplica la teoría a problemas del mundo real y ofrece conclusiones y recomendaciones concretas (Arias y Covinos, 2021).

Esta investigación pretende encontrar la forma de tratar las aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo mediante el empleo de coagulantes elaborados a partir de oca y papa para disminuir los niveles de contaminación detectados en el mismo.

3.4. Nivel o alcance de investigación

La investigación es de tipo explicativo, porque permite constituir relaciones causa-efecto entre sus variables a un nivel más profundo y organizado (Arias y Covinos, 2021); en consecuencia, el trabajo de investigación plantea establecer cómo los coagulantes naturales a base de oca y papa influyen en la calidad fisicoquímica del agua residual del camal Municipal de San Jerónimo.

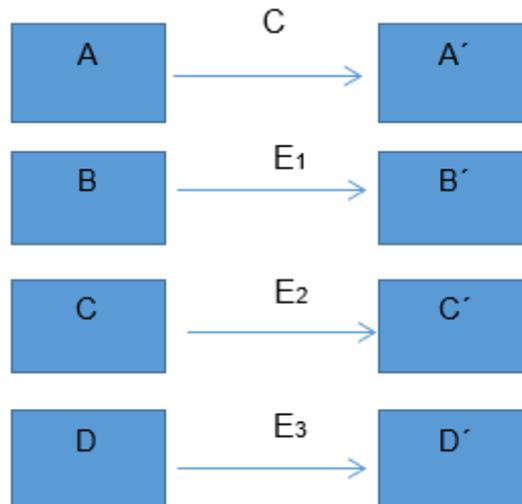
3.5. Diseño de la Investigación

En el presente estudio, el diseño fue de tipo experimental con estímulo creciente, debido a que se consideraron varios grupos y se evaluó la variable de interés antes del estímulo. Luego se administraron a los grupos experimentales estímulos crecientes (diferentes dosis y tiempo). Finalmente, se evaluaron los resultados de los experimentos y se contrastaron con los obtenidos en el grupo de control (Tresierra, 2018).

El diseño está representado en el siguiente ideograma (Tresierra, 2018).

Figura 4

Diseño experimental



Donde:

A : Grupo testigo (aguas residuales del camal)

B, C, D: Grupos experimentales (agua residual dosificados a diferentes concentraciones y diferentes tiempos).

B', C', D': Agua tratada

- Para el proceso de mezclado del agua residual y los coagulantes, se utilizó el equipo de jarras en el laboratorio de la UNAJMA.
- El equipo de prueba de jarras constaba de seis puestos lineales, cada uno con una capacidad de un litro (volumen constante), y con un variador de velocidad.
- Durante la prueba se comprobó la eficiencia de cada almidón; para ello, se utilizó 03 vasos de precipitación de 1 L para determinar la eficiencia del almidón de oca y 03 vasos de precipitación de 1 L para evaluar la eficiencia del almidón de papa.

- A cada vaso se cargó agua residual proveniente del camal de San Jerónimo y se añadió diferentes dosis de almidón (400, 600 y 800 mg/L), también se añadió a cada jarra 400 mg/L de sulfato férrico (dosis única).
- Para verificar la eficiencia del almidón de papa y oca en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se realizaron en diferentes tiempos (25, 30 y 35 min).
- La velocidad y tiempo de agitación durante la prueba de jarras para ambos coagulantes naturales (*Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosum*), se estimó tomando como referencia la propuesta de Mayhua y Quijada (2019):

N°	Velocidad/proceso	Velocidad (rpm)	Tiempo de tratamiento (min)		
			Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3
1	Velocidad rápida (mezclado)	160	5	5	5
2	Velocidad lenta (coagulación y floculación)	60	10	15	20
3	Sedimentación	0	10	10	10
Tiempo total de tratamiento (min)			25	30	35

Nota. * 03 tiempos de tratamiento (25, 30 y 35 min) - velocidad rápida (160 rpm por 5 minutos), velocidad lenta (60 rpm por 10, 15 y 20 minutos) y tiempo de sedimentación de 10 minutos.

- Por consiguiente, se constató la eficiencia del almidón de oca y papa a diferentes dosis (400, 600 y 800 mg/L) y a diferentes tiempos (25, 30 y 35 min).

3.6. Operacionalización de las variables

- **Variable independiente:** Eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*).
- **Variable dependiente:** Clarificación de aguas residuales de camal.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida
VI: Eficiencia del almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Dosis de coagulante	Peso del coagulante	mg
	Velocidad de agitación	Velocidad	r.p.m
	Tiempo de contacto	Tiempo	Minutos
VD: Clarificación de aguas residuales de camal	Parámetros fisicoquímicos	Color	(UPT)
		Turbiedad	(UNT)
		Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)
		Conductividad	(μ S/cm)
		Potencial de Hidrógeno	

3.7. Población, muestra y muestreo

Población:

Está determinada por el caudal de las aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

Muestra:

Para el proceso de experimentación se utilizó 20 litros de agua residual recolectada del camal municipal de San Jerónimo.

Muestreo:

En este estudio se utilizó un muestreo de criterios no probabilísticos, ya que la recogida de muestras no se fundamenta en la probabilidad, sino en factores específicos de acuerdo a las características de la investigación.

De acuerdo a la figura 05, la muestra de agua se recolectó de un solo punto (pozo sedimentador-sección 03) del camal municipal de San Jerónimo.

3.8. Técnica e instrumentos

3.8.1 Técnicas de recolección de datos

- Observación
- Análisis de laboratorio
- Protocolo de muestreo

3.8.2 Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de registro de datos
- Cadena de custodia

3.8.3 Obtención de los coagulantes naturales: Oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*)

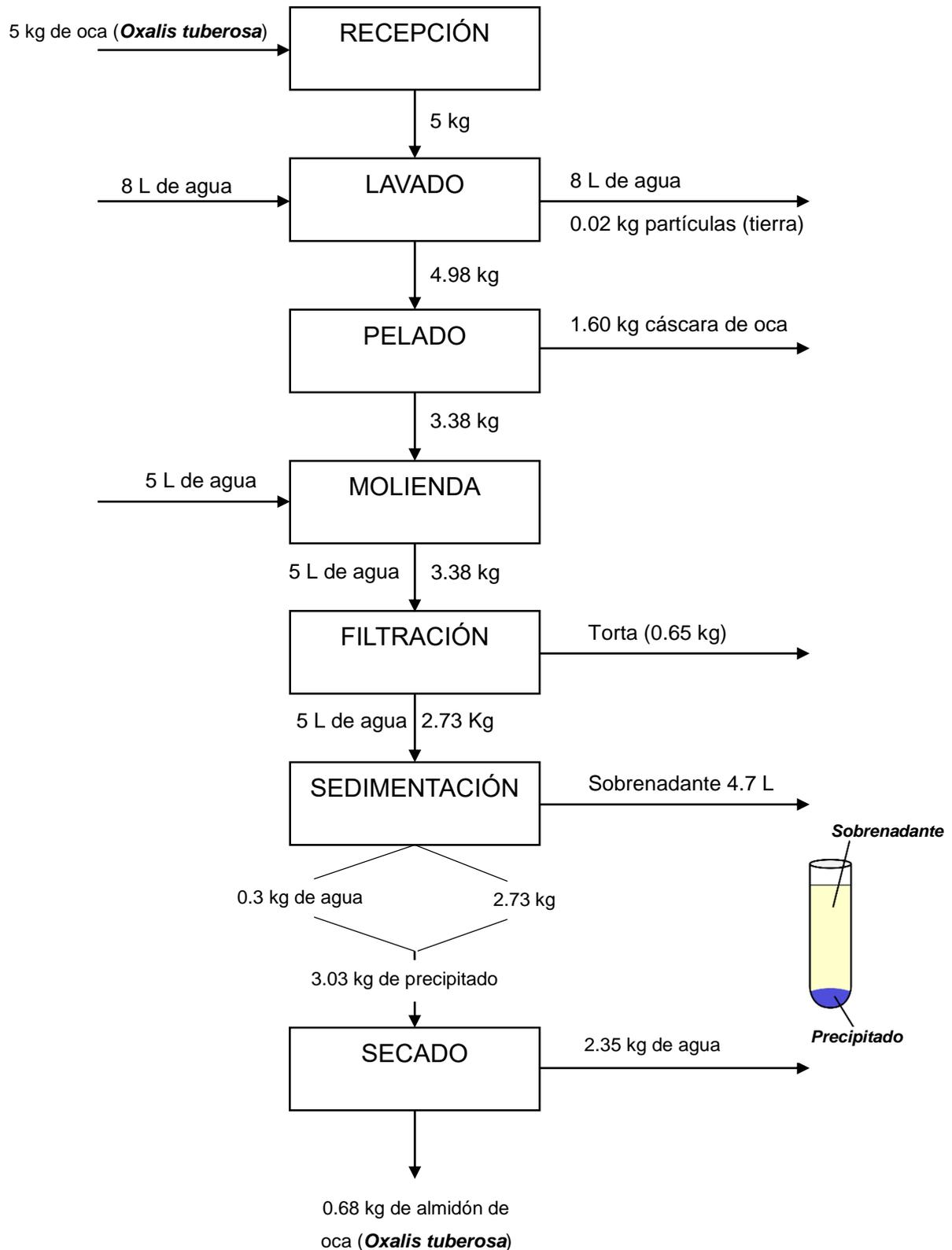
Se realiza la descripción respectiva del procedimiento a tener en cuenta para la extracción de los coagulantes naturales de la oca y papa; en tal sentido, la obtención de los coagulantes se realizó de la siguiente manera:

Diagrama de flujo de la obtención de los coagulantes oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*).

Diagrama de flujo de la obtención del coagulante: Oca (*Oxalis tuberosa*)

Figura 6

Obtención del coagulante natural: Oca (*Oxalis tuberosa*)



Descripción:

La extracción del almidón de oca se realizó según la metodología propuesta por Apaza (2018).

- **Recepción**

Se obtuvo 5 kg de Oca (***Oxalis tuberosa***) variedad amarilla de la feria dominical del distrito de Andahuaylas-Apurímac-Perú.

- **Lavado**

Las impurezas se eliminaron durante el proceso de lavado, que se realizó manualmente en un recipiente con 8 litros de agua. En este proceso se logró eliminar 0.02 kg de partículas (tierra).

- **Pelado**

Se realizó un pelado manual, había que hacerlo despacio para aprovechar al máximo el corte y evitar desperdiciar material en buen estado. Se obtuvo 1.60 kg de cáscara.

- **Molienda**

Para realizar este proceso se utilizó una licuadora marca *Oster* a una velocidad de 450 watts, primero se cortó la oca en rodajas pequeñas y posteriormente se licuó añadiendo 5 L de agua.

- **Filtración**

Para este procedimiento se utilizó un paño, donde se exprimió la mayor cantidad de agua del material obtenido en la molienda. Se logró quitar 0.65 kg de torta.

- **Sedimentación**

Para la separación del sólido dentro del fluido líquido, se dejó sedimentar por 3 horas, conforme pasó el tiempo se logró obtener 3.03 kg de precipitado y 4.7 litros de sobrenadante que fue eliminado.

- **Secado**

Finalmente, los 3.03 Kg de precipitado obtenido en el proceso de sedimentación fue almacenado en un secador de aluminio y se mandó a secar en una estufa a 103 °C por 18 horas (14:00 pm a 08:00 am del día siguiente), lográndose obtener 0.68 kg de almidón de oca.

Rendimiento:

Para realizar el cálculo del rendimiento de extracción del almidón de oca se tomó en consideración la metodología aplicada por Hancoo (2007).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de almidón}}{\text{Peso de materia prima}} \times 100$$

Se logró obtener 0.68 kg de almidón de oca a partir de 5 Kg de materia prima y esto representa 13.6% de rendimiento de extracción, tal como se detalla a continuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.68 \text{ kg}}{5 \text{ kg}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 13.6 \%$$

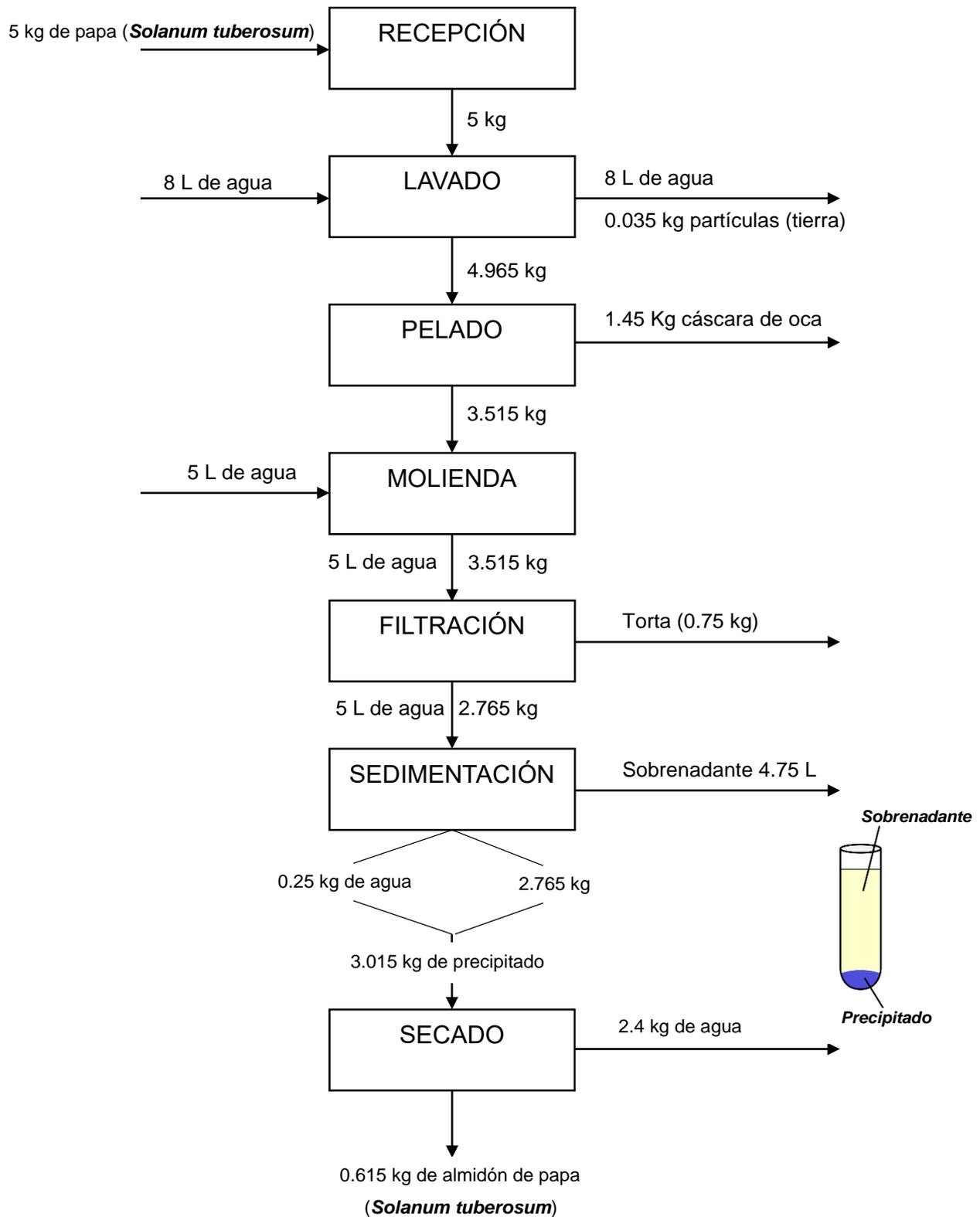
Pureza del almidón obtenido

Las propiedades del almidón pueden verse afectadas por impurezas presentes; por tal razón, para determinar el grado de pureza del almidón de oca se tomó como referencia la información presentada por Hernández et al. (2004) quienes concluyeron que, la pureza del almidón de oca es aproximadamente de 90,5% en base seca. Teniendo esta información se considera que, de los 0.68 kg de almidón de oca obtenido solo 0.6154 kg es almidón puro.

Diagrama de flujo de la obtención del coagulante: Papa (*Solanum tuberosum*)

Figura 7

Obtención del coagulante natural: Papa (*Solanum tuberosum*)



Descripción:

La extracción del almidón de papa se realizó según la metodología propuesta por Huaranga y Vilcarano (2019).

- **Recepción**

Se obtuvo 5 kg de papa (***Solanum tuberosum***) variedad Yungay de la feria dominical del distrito de Andahuaylas-Apurímac-Perú.

- **Lavado**

Las impurezas se eliminaron durante el proceso de lavado, que se realizó manualmente en un recipiente con 8 litros de agua. En este proceso se logró eliminar 0.035 kg de partículas (tierra).

- **Pelado**

Se realizó un pelado manual, había que hacerlo despacio para aprovechar al máximo el corte y evitar desperdiciar material en buen estado. Se obtuvo 1.45 kg de cáscara.

- **Molienda**

Para realizar este proceso se utilizó una licuadora marca Oster a una velocidad de 450 watts, primero se cortó la papa en pequeños pedazos y posteriormente se licuó añadiendo 5 L de agua en total.

- **Filtración**

Para este procedimiento se utilizó un paño, donde se exprimió la mayor cantidad de agua del material obtenido en la molienda. Se logró quitar 0.75 kg de torta.

- **Sedimentación**

Para la separación del sólido dentro del fluido líquido, se dejó sedimentar por 3 horas, conforme pasó el tiempo se logró obtener 3.015 kg de precipitado y 4.75 litros de sobrenadante que fue eliminado.

- **Secado**

Finalmente, los 3.015 kg de precipitado obtenido en el proceso de sedimentación fue almacenado en un secador de aluminio y se mandó a secar en una estufa a 103 °C por 18 horas (14:00 pm a 08:00 am del día siguiente), lográndose obtener 0.615 kg de almidón de papa.

Rendimiento:

Para realizar el cálculo del rendimiento de extracción del almidón de papa se tomó en consideración la metodología aplicada por Hanco (2007).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de almidón}}{\text{Peso de materia prima}} \times 100$$

Se obtuvo 0.615 kg de almidón de papa a partir de 5 kg de materia prima y esto representa 12.3% de rendimiento de extracción, tal como se detalla a continuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.615 \text{ kg}}{5 \text{ kg}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 12.3 \%$$

Pureza del almidón obtenido

Es importante señalar que, las propiedades del almidón pueden verse afectadas por impurezas presentes; por tal razón, para determinar el grado de pureza del almidón de papa se tomó como referencia la información presentada por Martínez

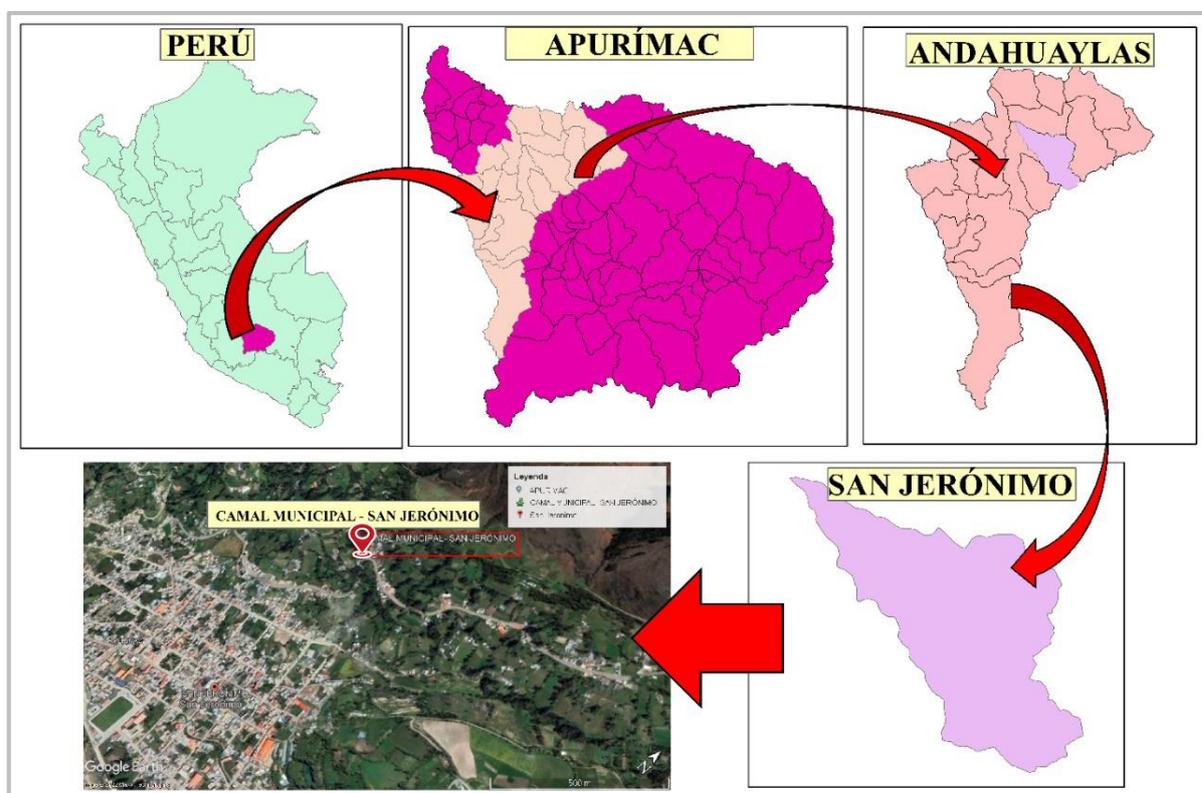
et al. (2019) quienes concluyeron que, la pureza del almidón de papa es de 91,7% en base seca. Teniendo esta información se considera que, de los 0.615 kg de almidón de papa obtenido solo 0.564 kg es almidón puro.

3.8.4 Ubicación de la toma de muestras

Para localizar con precisión el lugar de recogida de las muestras de aguas residuales se han utilizado herramientas como el Google Earth, así como el programa ArcGIS. En tal sentido, las aguas residuales fueron recolectadas del matadero municipal del distrito de San Jerónimo, ubicado en la provincia de Andahuaylas-región Apurímac-Perú.

Figura 8

Ubicación de la toma de muestra



Nota. Elaboración propia

3.8.5 Materiales utilizados en la toma de muestras

- Guantes
- Guardapolvo
- Lapicero
- Caja de refrigeración
- Mascarilla
- Cámara fotográfica
- GPS
- Recipientes de 1L esterilizados

3.8.6 Equipos materiales y reactivos utilizados en el laboratorio

Tabla 2

Equipos, materiales y reactivos utilizados en el laboratorio

Equipos	Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Equipo de prueba de jarras• Estufa de secado• Turbidímetro• Termómetro digital• pHmetro• Balanza analítica• Espectrofotómetro	<ul style="list-style-type: none">• Guantes• Tamiz• Varilla• Fiola de 100mL• Probeta de 50mL• Vaso de precipitación• Pipeta de 10mL• Filtro• Embudo	<ul style="list-style-type: none">• Almidón de oca• Almidón de papa• Sulfato férrico• Agua destilada

3.8.7 prueba de jarras.

Se utilizó el ensayo de jarras para evaluar el tiempo y dosis óptima del almidón de oca y papa en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

3.8.7.1 Prueba de jarras para el coagulante de oca (*Oxalis tuberosa*)

Tabla 3

*Prueba de jarras para el coagulante de oca (*Oxalis tuberosa*)*

Testigo	Jarra N°	Cantidad de agua (L)	Cantidad del coagulante (<i>Oxalis tuberosa</i>) (mg/L)	Cantidad de sulfato férrico (mg/L)	Tiempo de contacto (agua-Coagulante) (min)	Medición de parámetros fisicoquímico
Agua residual	1	1	400	400	25	M1
					30	M2
					35	M3
	2	1	600	400	25	M1
					30	M2
					25	M3
	3	1	800	400	30	M1
					35	M2
					25	M3

Fuente: Elaboración propia

3.8.7.2 Prueba de jarras para el coagulante de papa (*Solanum tuberosum*)

Tabla 4

*Prueba de jarras para el coagulante de papa (*Solanum tuberosum*)*

Testigo	Jarra N°	Cantidad de agua (L)	Cantidad del coagulante (<i>Solanum tuberosum</i>) (mg/L)	Cantidad de sulfato férrico (mg/L)	Tiempo de contacto (agua-Coagulante) (min)	Medición de parámetros fisicoquímico
Agua residual	1	1	400	400	25	M1
					30	M2
					35	M3
	2	1	600	400	25	M1
					30	M2
					35	M3
	3	1	800	400	25	M1
					30	M2
					35	M3

Fuente: Elaboración propia

Durante la prueba de jarras con diferentes dosis de almidón (400, 600 y 800 mg/L), el proceso de coagulación y floculación está determinado por la pureza del almidón. Para tal efecto, se toma la siguiente consideración: Según Hernández et al. (2004) la pureza del almidón de oca (90.5%) en base seca. Análogamente, la pureza del almidón de papa (91.7%) en base seca, según la investigación de Martínez et al. (2019). A continuación, se detalla la pureza de almidón por cada dosis aplicada durante la prueba de jarras:

Tabla 5

Pureza de almidón en las dosis aplicadas

Dosis mg/L	Pureza de almidón	
	90.5 %	91.7 %
	Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) mg/L	Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) mg/L
400	362	366.8
600	543	550.2
800	724	733.6

Nota. Esta tabla muestra la pureza de almidón por cada dosis aplicada, tomando como referencia las investigaciones de Hernández et al. (2004) y Martínez et al. (2019).

3.9. Consideraciones éticas

Se reconoció la contribución de cada autor con una breve cita en el texto y se ha incluido una referencia completa en estilo APA al final del trabajo. Con ello para dar crédito al autor, proteger la propiedad intelectual y remitir al lector a la fuente original para una lectura más profunda. Todos los datos de esta investigación se recogieron y analizaron prestando estricta atención a la objetividad, la honestidad y sobre todo respetando la propiedad intelectual.

3.10. Procedimiento Estadístico

Se llevó a cabo en primer lugar, la prueba de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, posteriormente se realizó el diseño experimental de análisis de varianza (ANOVA) y un análisis post hoc de comparación en parejas por medio del test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey. Seguidamente, la prueba t de Student para comparar las medias entre dos grupos; por último, se utilizó la prueba t de una muestra para comparar la media de los grupos en análisis con los parámetros iniciales. En tal sentido, se utilizó el software Microsoft Excel 2019 e IBM SPSS Statistics 27, que sirvió para la codificación, procesamiento y presentación de resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

➤ **Calidad inicial del agua residual del camal municipal de San Jerónimo**

Para la evaluación de la eficiencia del almidón de oca y papa en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, se ha determinado las características iniciales de los parámetros: color, turbiedad, SST, conductividad y pH de las aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo. Seguidamente, se hizo un comparativo con las diferentes normativas vigentes (VMA y ECA para agua).

Tabla 6*Parámetros fisicoquímicos del agua residual del camal*

Parámetro fisicoquímico	Unidad de medida	Valor	Normativas		
			VMA	ECA- categoría 3	ECA- categoría 1 Subcategoría A
Color	UPC	1178	-	<100	
Turbiedad	UNT	549	-	-	100
SST	mg/L	630	500		
Conductividad	μS/cm	484,5	-	2500	
pH	Unid. pH	7,74	6-9	-	

Nota. Comparativo entre los parámetros iniciales del agua residual y las normativas vigentes. *(VMA) “Descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”, *ECA (categoría 3-Riego de vegetales), *ECA (categoría 1-poblacional y recreacional) Subcategoría (A). Fuente (MVCS) y (MINAM).

➤ **Obtención del almidón de oca y papa**

Extracción del coagulante natural de la Oca

La materia prima oca (*Oxalis tuberosa*) variedad amarilla fue adquirida en la feria dominical de Andahuaylas (5kg). Para el proceso de extracción de almidón se tomó como referencia el procedimiento propuesto por Apaza (2018). Se logró extraer 0.68 kg de almidón de oca, lo que representa un rendimiento del 13.6%.

Tomando como referencia la investigación de Hernández et al. (2004) quienes concluyeron que, la pureza del almidón de oca es aproximadamente de 90.5% en base seca. Teniendo esta información se considera que, de los 0.68 kg de almidón de oca obtenido solo 0.6154 kg es almidón puro.

Extracción del coagulante natural de la Papa

Para la extracción de almidón, se obtuvo 5 kg de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Yungay de la feria dominical del distrito de Andahuaylas. El proceso de extracción se realizó según la metodología propuesta por Huaranga y Vilcarano (2019), teniendo en consideración los siguientes procesos: recepción, lavado, pelado, molienda, filtración, sedimentación y secado. Finalmente, se logró extraer 0.615 kg de almidón de papa a partir de 5 kg de materia prima que representa 12.3% de rendimiento.

Según Martínez et al. (2019) en su investigación concluyeron que, la pureza del almidón de papa es de 91.7% en base seca. Teniendo esta información como referencia, se determina que de los 0.615 kg de almidón de papa obtenido solo 0.564 kg es almidón puro.

Tabla 7

Cantidad y porcentaje de rendimiento de almidón

Materia prima	Peso (kg)	Cantidad de almidón obtenido (kg)	Rendimiento (%)
Oca	5	0.68	13.6
Papa	5	0.615	12.3

➤ Evaluación de la dosis de sulfato férrico

Teniendo en consideración los parámetros iniciales, y para conseguir mejores resultados en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, se utilizó sulfato férrico (400 mg/L) como dosis única, y para establecer esta dosis se realizó la prueba de jarras con concentraciones de 200, 400 y 600 mg/L, con un tiempo de tratamiento de 25 min (5 min de

agitación rápida, 10 min de agitación lenta y 10 min de sedimentación). En la Tabla 8 se detalla los resultados conseguidos:

Tabla 8

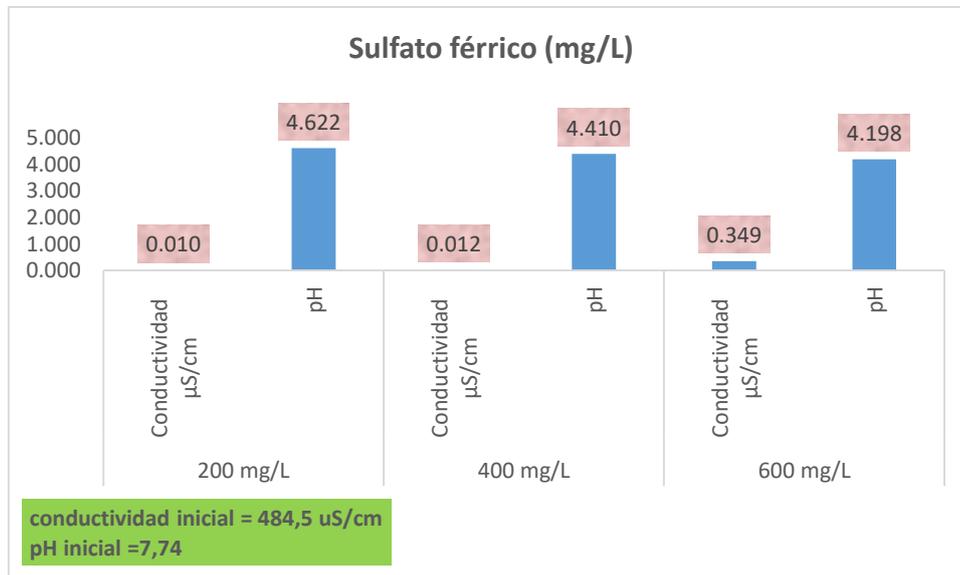
Parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada con sulfato férrico

Jarra Nº	Sulfato férrico (mg/L)	Tiempo de contacto (min)	Parámetro Fisicoquímico				pH
			Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)	Conductividad µS/cm	
1	200	25	598,5	207,4	135	0,010	4,62
2	400	25	85	128	34	0,012	4,41
3	600	25	212	145,2	82	0,349	4,19

En la Figura 9, se ilustra los valores de pH y conductividad del agua tratada con una reducción de aproximadamente $\text{pH} \approx 4$ de un valor inicial de $\text{pH} \approx 7,74$; evidenciando que, a mayor dosis de sulfato férrico mayor acidez de la solución; en caso de la conductividad, se muestra una reducción considerable de $484,5 \mu\text{S/cm}$ a valores mínimos de $0,010 \mu\text{S/cm}$, $0,012 \mu\text{S/cm}$ y $0,349 \mu\text{S/cm}$.

Figura 9

Variación de pH y conductividad



Ahora bien, para calcular el porcentaje de eficiencia de remoción se utilizaron las fórmulas que a continuación se detallan:

Para eficiencia de remoción del color:

$$\% \text{ Eficiencia}_{\text{remoción}} = \frac{\text{Color inicial (UPC)} - \text{Color final (UPC)}}{\text{Color inicial (UPC)}} \times 100$$

Para eficiencia de remoción de la turbiedad:

$$\% \text{ Eficiencia}_{\text{remoción}} = \frac{\text{Turbiedad inicial (NTU)} - \text{Turbiedad final (NTU)}}{\text{Turbiedad inicial (NTU)}} \times 100$$

Para eficiencia de remoción de SST

$$\% \text{ Eficiencia}_{\text{remoción}} = \frac{\text{SST inicial (mg/L)} - \text{SST final (mg/L)}}{\text{SST inicial (mg/L)}} \times 100$$

En la Tabla 9 y Figura 10, se detalla que, la reducción máxima de color, turbiedad y SST utilizando sulfato férrico fue del 92,78%, 76,68% y 94,60% respectivamente, esto se alcanzó a una dosis de 400 mg/L. Por ende, para los

experimentos posteriores de remoción con almidón de oca y papa se utilizó sulfato férrico a una dosis constante de 400 mg/L

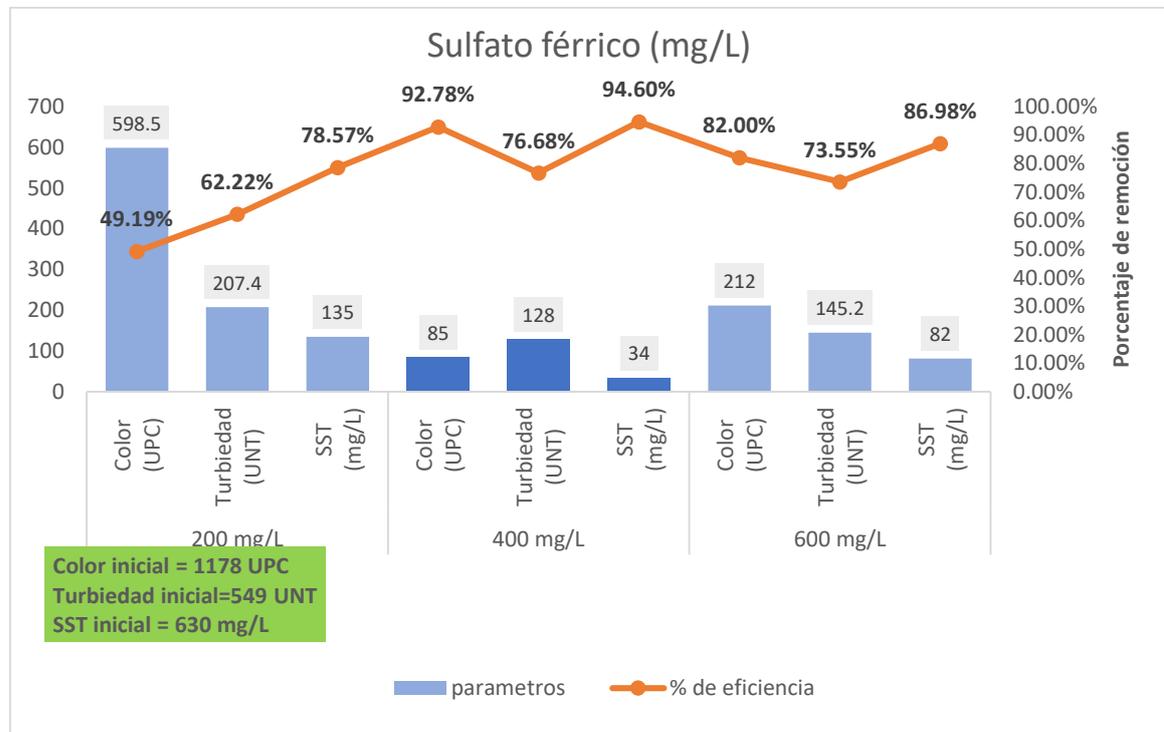
Tabla 9

Eficiencia de remoción con sulfato férrico de 400 g/L

Dosis	Parámetro	Valor	% de eficiencia
200 mg/L	Color (UPC)	598,5	49,19%
	Turbiedad (UNT)	207,4	62,22%
	SST (mg/L)	135	78,57%
400 mg/L	Color (UPC)	85	92,78%
	Turbiedad (UNT)	128	76,68%
	SST (mg/L)	34	94,60%
600 mg/L	Color (UPC)	212	82,00%
	Turbiedad (UNT)	145,2	73,55%
	SST (mg/L)	82	86,98%

Figura 10

Eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST con sulfato férrico



➤ **Resultados de proceso de tratamiento con almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)**

En la Tabla 10, se muestra los resultados conseguidos en la prueba de jarras, y los parámetros analizados fueron: color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, conductividad y pH, con un tiempo de tratamiento de (25, 30 y 35 min) y dosis de (400, 600 y 800 mg/L) de almidón de oca (***Oxalis tuberosa***).

Tabla 10

*Prueba de jarras para el coagulante de oca (*Oxalis tuberosa*)*

Jarr a Nº	Dosis coagulant e oca (mg/L)	Tiempo de contact o (min)	Parámetro Fisicoquímico				
			Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Conductividad µS/cm	pH
1	400	25	71	9.4	24	0.327	5.71
		30	108	15.4	48	68.34	5.72
		35	276	16.8	60	71.71	5.81
2	600	25	95	7.3	16	217.8	5.76
		30	47	6.9	15	210.3	5.72
		35	51	7.6	18	0.061	5.81
3	800	25	49	12.5	34	0.148	5.77
		30	107	16.7	52	0.034	5.83
		35	53	17.1	54	0.036	5.85

La Tabla 10 ilustra que, la mejor remoción de color, turbiedad y SST se consiguió con 600 mg/L de coagulante natural obtenido del almidón de oca con un tiempo de tratamiento de 30 minutos (5 min de agitación rápida, 15 min de agitación lenta y 10 min de sedimentación). Así como se muestra en la Tabla

11, el mayor porcentaje de remoción de color, turbiedad y SST fueron 96,01%, 98,74% y 97,62% respectivamente.

Tabla 11

Eficiencia de remoción para el coagulante de oca (Oxalis tuberosa)

Jarra N°	Dosis coagulante oca (mg/L)	Tiempo de contacto (min)	% de eficiencia		
			Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
1	400	25	93.97%	98.29%	96.19%
		30	90.83%	97.19%	92.38%
		35	76.57%	96.94%	90.48%
2	600	25	91.94%	98.67%	97.46%
		30	96.01%	98.74%	97.62%
		35	95.67%	98.62%	97.14%
3	800	25	95.84%	97.72%	94.60%
		30	90.92%	96.96%	91.75%
		35	95.50%	96.89%	91.43%

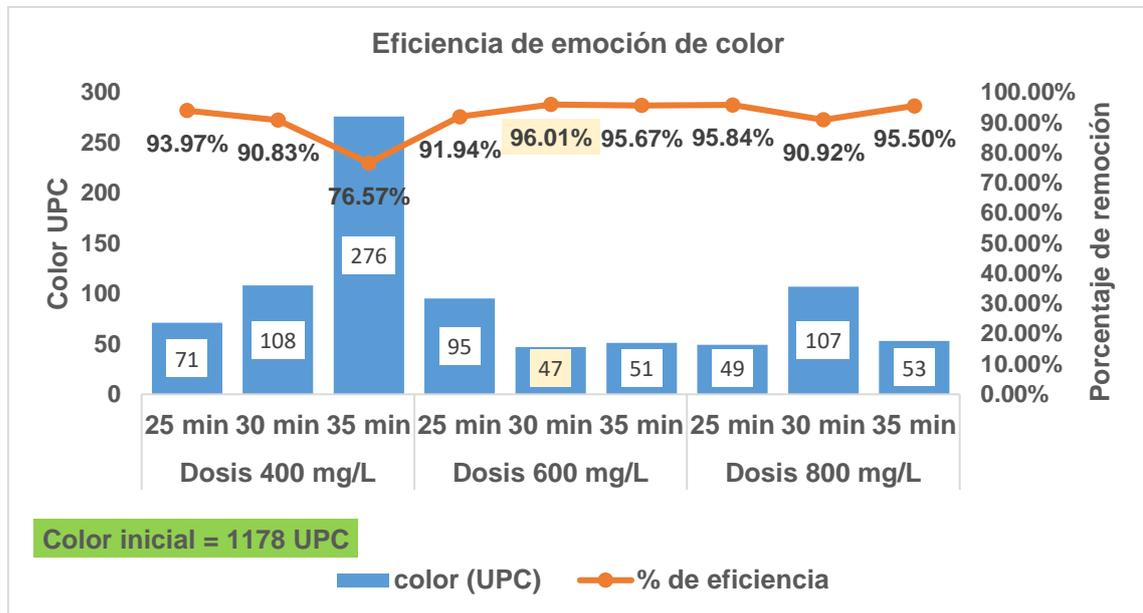
➤ **Análisis de eficiencia por cada parámetro-tratamiento con almidón de oca**

Seguidamente, para tener una mejor interpretación, se valoró la eficiencia de remoción por cada parámetro, considerando la dosis de almidón de oca (400, 600 y 800 mg/L) y tiempo de tratamiento (25, 30 y 35 min).

La figura 11 demuestra que, 600 mg/L de almidón de oca a 30 minutos elimina con gran eficiencia el color (96,01%), lo que equivale una reducción de 1178 UPC a 47 UPC.

Figura 11

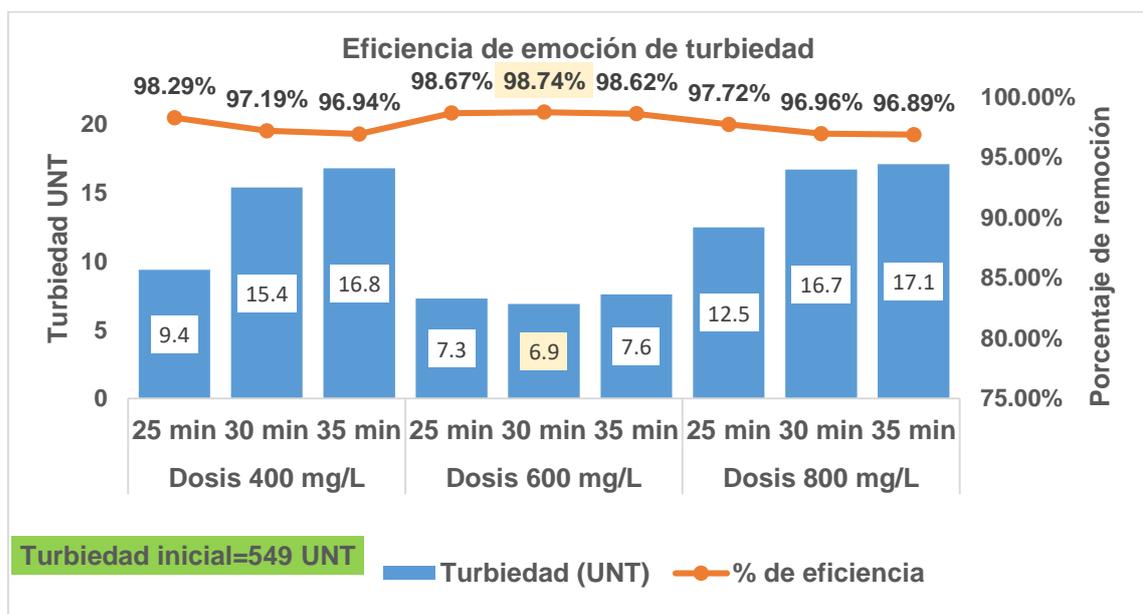
Eficiencia de remoción de color



En la Figura 12, vemos que 30 minutos de tratamiento con 600 mg/L de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) produce la mayor eficiencia de reducción de la turbidez (98,74%), lo que equivale una disminución de 549 UNT a 6,9 UNT.

Figura 12

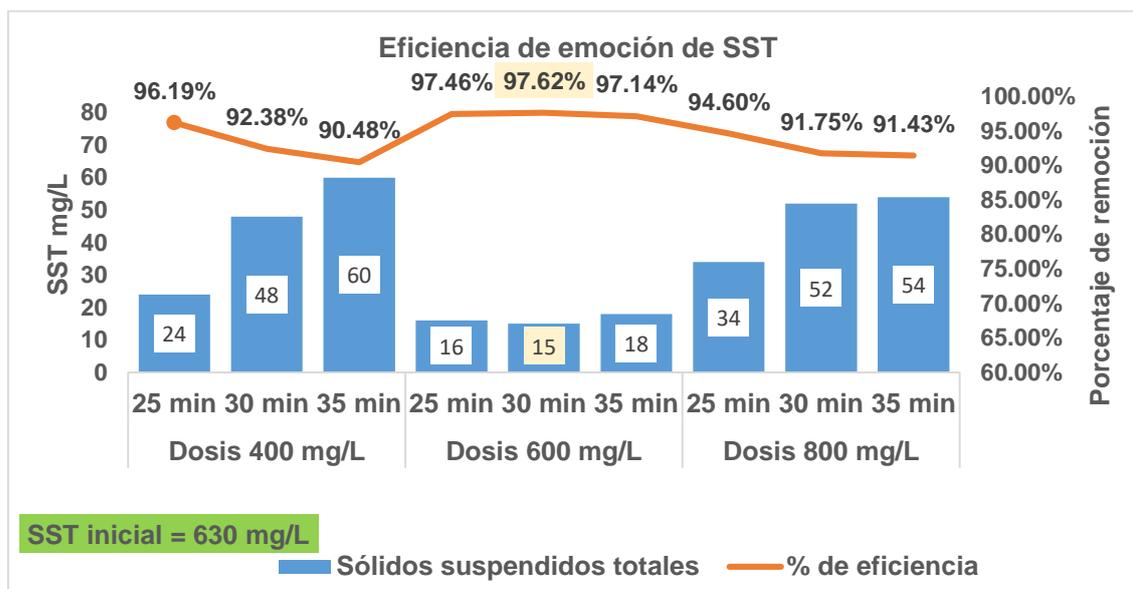
Eficiencia de remoción de turbiedad



Como se muestra en la Figura 13, el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) a 600 mg/L y una duración del tratamiento de 30 minutos tuvo la mayor eficiencia de remoción de SST (97,62%), lo que equivale una reducción de 630 mg/L a 15 mg/L.

Figura 13

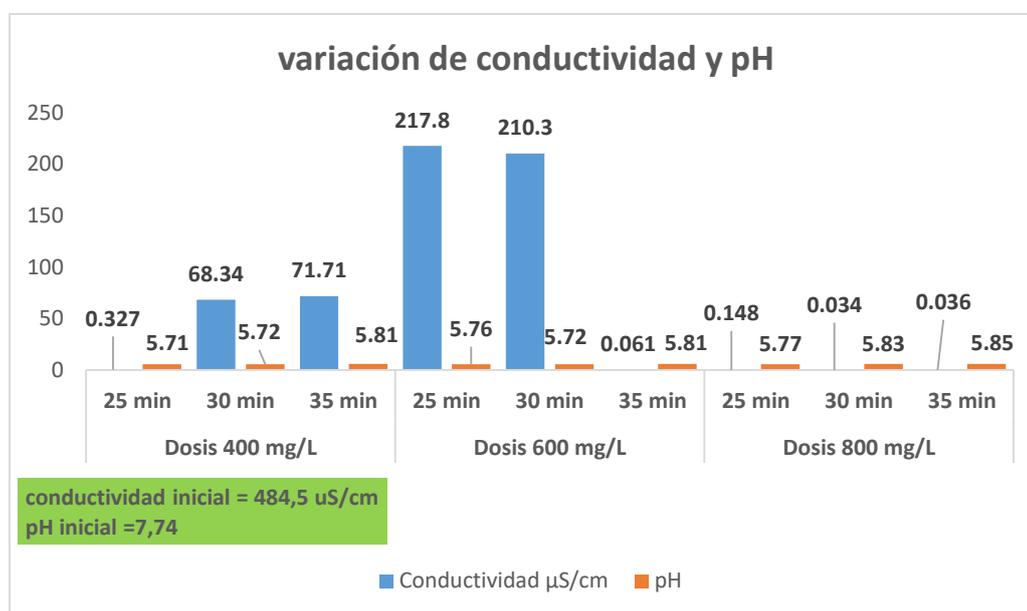
Eficiencia de remoción de SST



En la Figura 14, se ilustra los valores de pH y conductividad del agua tratada con almidón de oca (*Oxalis tuberosa*), se logró una reducción de pH mínimo de 5,71 y máximo de 5,85 de un valor de pH≈7,74. En caso de la conductividad, se muestra una reducción considerable a 0,034 $\mu\text{S/cm}$ (con dosis de 800 mg/L y 30 min de tratamiento) y máximo de 217,8 $\mu\text{S/cm}$ (con dosis de 600 mg/L y 25 min de tratamiento).

Figura 14

Variación de pH y conductividad



➤ **Resultados de proceso de tratamiento con almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.)**

En la Tabla 12, se muestra los resultados conseguidos en la prueba de jarras, y los parámetros analizados fueron: color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, conductividad y pH, con un tiempo de tratamiento de (25, 30 y 35 min) y dosis de (400, 600 y 800 mg/L) de almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

Tabla 12

*Prueba de jarras para el coagulante de papa (*Solanum tuberosum*)*

Jarr a Nº	Dosis coagulante papa (mg/L)	Tiempo de contacto (min)	Parámetro Fisicoquímico				
			Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Conductividad µS/cm	pH
1	400	25	265	14.3	38	0.382	5.69
		30	122	12.9	32	93.24	5.82
		35	94	16.3	48	95.15	5.86
2		25	71	8.1	22	69.26	5.72

	600	30	94	9.8	26	82.23	5.42
		35	144	12.5	32	240.2	5.80
		25	359	8.6	24	0.072	5.74
3	800	30	48	7.8	23	0.422	5.62
		35	82	9.5	24	0.036	5.85

El cuadro anterior indica que la remoción más eficiente de color, turbidez y sólidos suspendidos totales se logró con 800 mg/L de coagulante natural derivado del almidón de papa y un tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Tabla 13

*Eficiencia de remoción del coagulante papa (*Solanum tuberosum*)*

Jarra Nº	Dosis coagulante papa (mg/L)	Tiempo de	% de eficiencia		
			color	Turbiedad	Sólidos suspendidos totales
1	400	25 min	77,50%	97,40%	93,97%
		30 min	89,64%	97,65%	94,92%
		35 min	92,02%	97,03%	92,38%
2	600	25 min	93,97%	98,52%	96,51%
		30 min	92,02%	98,21%	95,87%
		35 min	87,78%	97,72%	94,92%
3	800	25 min	69,52%	98,43%	96,19%
		30 min	95,93%	98,58%	96,35%
		35 min	93,04%	98,27%	96,19%

Tal como se muestra en la Tabla 13, el mayor porcentaje de remoción de color, turbiedad y SST fueron 95,93%, 98,58% y 96,35% respectivamente.

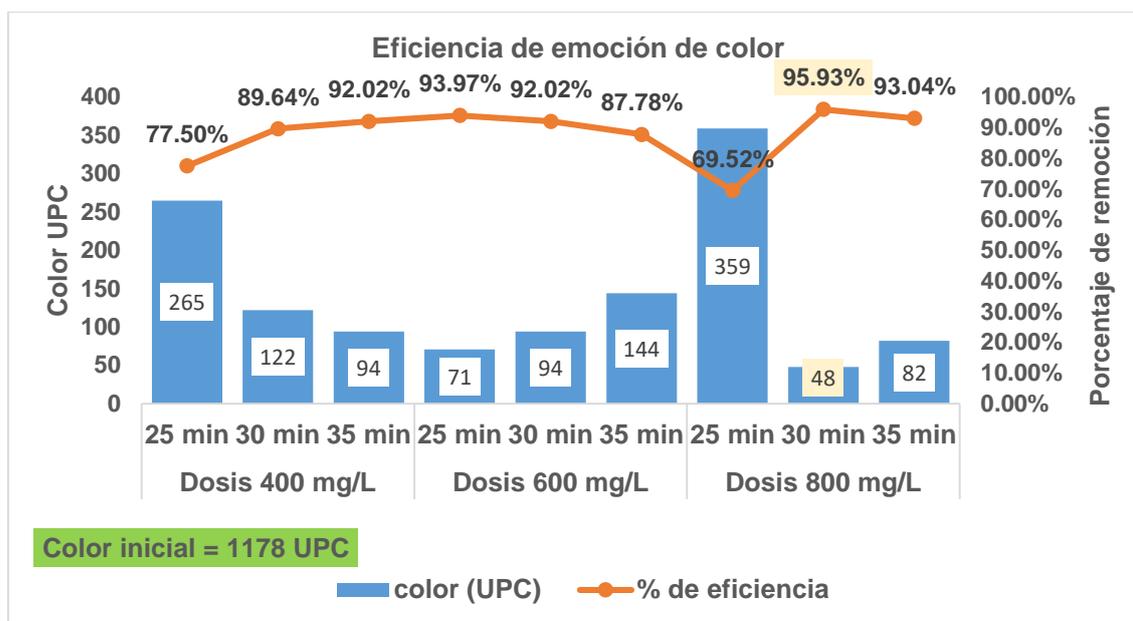
➤ **Análisis de eficiencia por cada parámetro-tratamiento con almidón de papa**

Para tener una mejor interpretación, se valoró la eficiencia de remoción por cada parámetro, considerando la dosis de almidón de papa (400, 600 y 800 mg/L) y tiempo de tratamiento (25, 30 y 35 min).

En la Figura 15 se ilustra la mejor eficiencia de remoción de color (95,93%) con 800 mg/L de almidón de papa, con un tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Figura 15

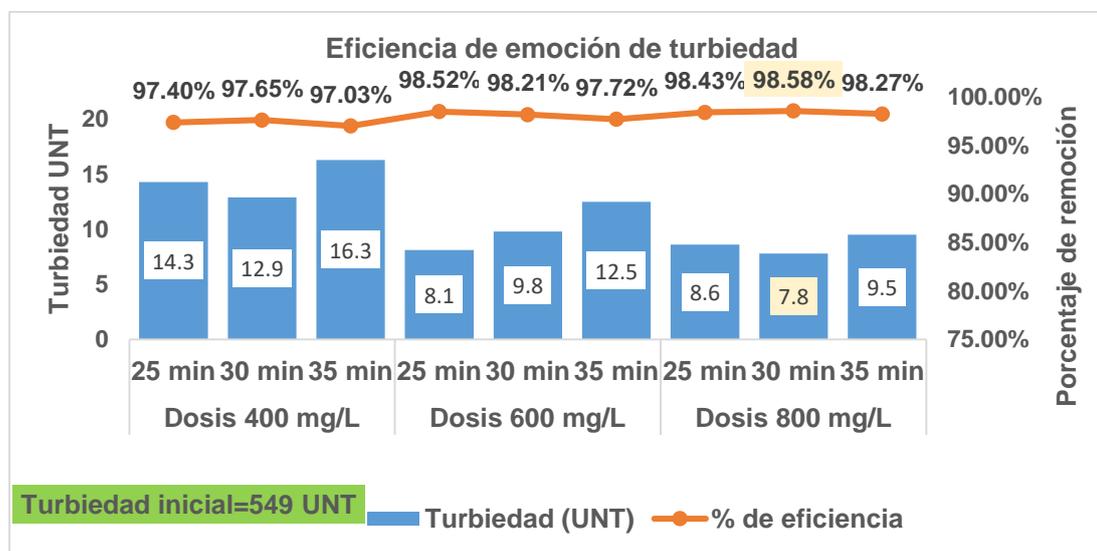
Eficiencia de remoción de color



La figura 16 ilustra que, 800 mg/L de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y 30 minutos de tratamiento son los mejores para eliminar la turbidez (98,58%).

Figura 16

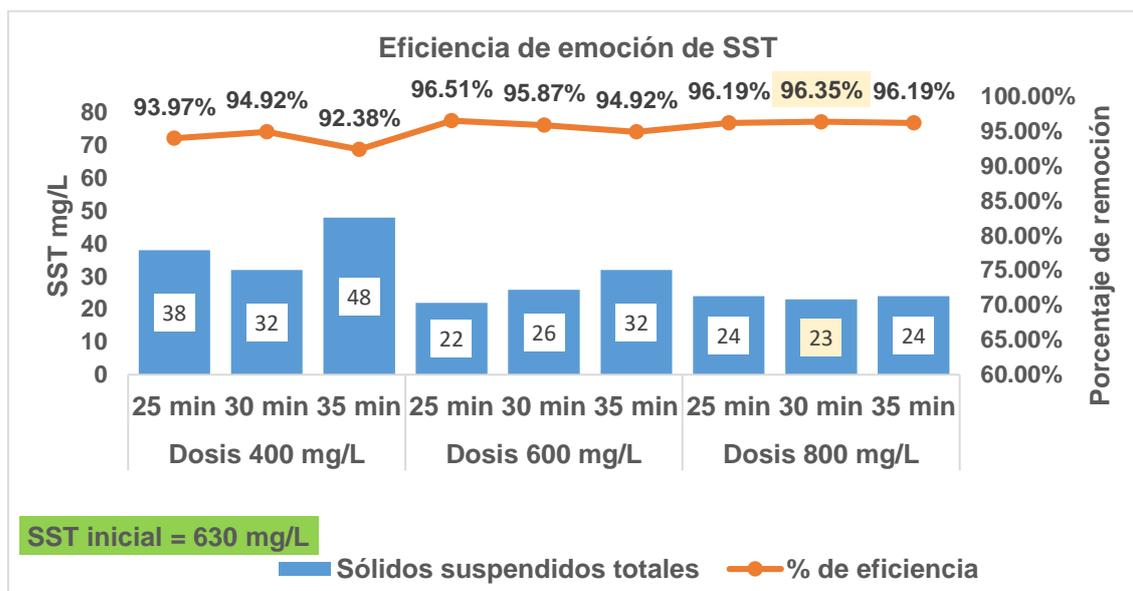
Eficiencia de remoción de turbiedad



En la Figura 17, se ilustra que 800 mg/L de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) fue el más eficaz en la eliminación de SST (96,35%) después de ser tratado durante 30 minutos.

Figura 17

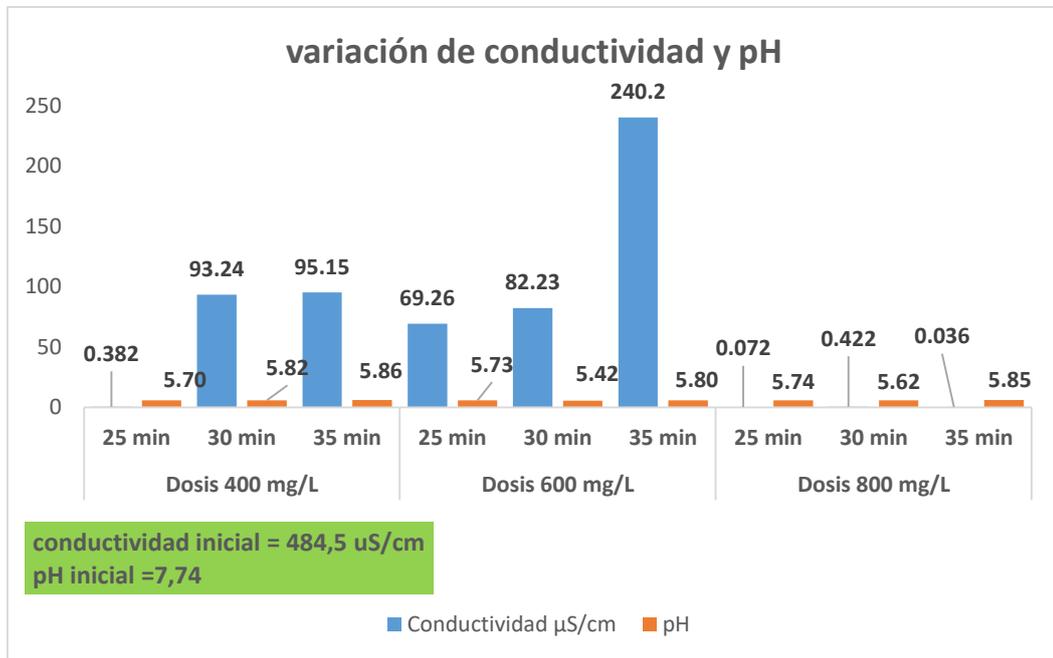
Eficiencia de remoción de SST



En la Figura 18, se ilustra los valores de pH y conductividad del agua tratada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*), se tuvo como resultado una reducción de pH mínimo de 5,42 y máximo de 5,86 de un valor inicial de pH≈7,74. En caso de la conductividad, se muestra una reducción considerable a 0,036 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (con dosis de 800 mg/L y 35 min de tratamiento) y máximo de 240,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (con dosis de 600 mg/L y 35 min de tratamiento).

Figura 18

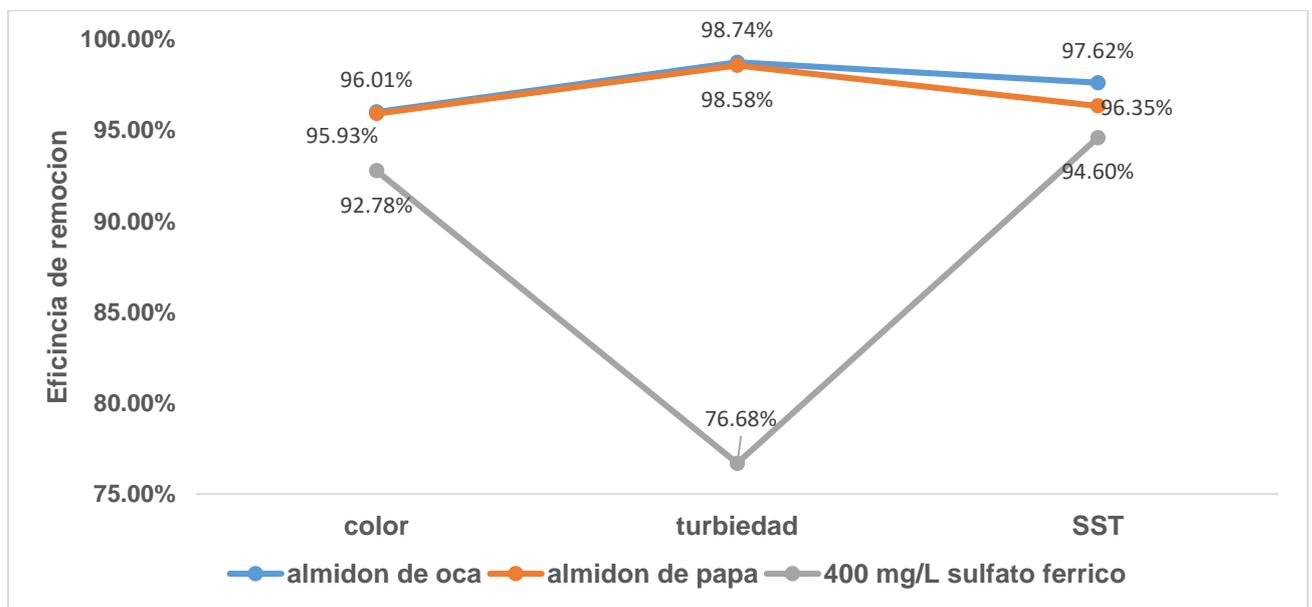
Variación de pH y conductividad



En la Figura 19, se compara la mejor dosis de oca (600 mg/L) y papa (800 mg/L) Vs la eficiencia de remoción obtenida por el sulfato férrico (400 mg/L)

Figura 19

Eficiencia de remoción con 600 mg/L de almidón de oca y 800 mg/L de almidón de papa Vs sulfato férrico



4.2. Discusión de Resultados

Los parámetros iniciales del agua residual del camal municipal de San Jerónimo fueron: **SST (630 mg/L)** que supera los Valores Máximos Admisibles (VMA) que refiere a las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, cuyo valor permitido es de 500 mg/L. **Turbiedad (549 UNT)** que está por encima de los 100 UNT establecido en los ECA para agua (Categoría 1: Poblacional y Recreacional - Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable). **Color (1178 UPC)** que sobrepasa el límite establecido en la Categoría 3: Riego de vegetales (ECA para agua) cuyo valor permitido es <100 UPC. **Conductividad (484,5 µS/cm)** que es menor al valor de 2500 µS/cm establecido en los ECA para agua (categoría 3-Riego de vegetales), Finalmente, las aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo presentan un **pH de 7,747** que está dentro de los VMA señalados en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA (Descarga al sistema de alcantarillado sanitario).

La extracción del almidón de oca se realizó según la metodología propuesta por Apaza (2018), se obtuvo 0.68 kg de almidón de oca a partir de 5 kg de materia prima, que representa un 13.6% de rendimiento, y para determinar su pureza se tomó como referencia la investigación de Hernández et al. (2004) quienes precisaron que, la pureza del almidón de oca es de 90.5% en base seca y con esta información se calculó que, de los 0.68 kg de almidón de oca obtenido solo 0.6154 kg es almidón puro. Similarmente, la extracción del almidón de papa se realizó según la metodología propuesta por Huaranga y Vilcarano (2019), se logró extraer 0.615 kg de almidón de papa a partir de 5 kg de materia prima que

representa 12.3% de rendimiento y su pureza fue calculada tomando como referencia el estudio de Martínez et al. (2019) quienes señalaron que la pureza del almidón de papa es de 91.7% en base seca y teniendo esta información se determinó que, de los 0.615 kg de almidón de papa obtenido solo 0.564 kg es almidón puro. Estos valores se asemejan a los resultados obtenidos por Hurtado y Yarleque (2017) quienes demostraron en su investigación que el almidón que se extrae de la papa corresponde al 9,9 % del peso del tubérculo. Contrariamente, Chalco (2016) logró extraer 412 g de almidón a partir de 2 Kg de papa siendo este un rendimiento alto (20,60%), a diferencia de Ttito (2018) que logró extraer 123,8 g de almidón a partir de 5 Kg de papa (Var. Imilla negra) que representa 2,5 % de rendimiento.

De acuerdo a los resultados conseguidos en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo con almidón de oca (***Oxalis tuberosa***). Los porcentajes máximos de eliminación de color, turbidez y SST fueron del 96,01%, 98,74% y 97,62%, respectivamente, con una dosis de 600 mg/L de almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) y un tiempo de tratamiento de 30 minutos (5 minutos de agitación rápida, 15 minutos de agitación lenta y 10 minutos de sedimentación), en esas condiciones el pH fue de 5,72 y conductividad (210,3 $\mu\text{S/cm}$). Similar resultado obtuvo Cainaba y Delgado (2020), con una eficiencia del 98,70% de la turbidez con coagulante a base de ***Solanum tuberosum*** a un pH de 5. Asimismo, Desta y Bote (2021) obtuvieron la máxima eliminación de color y turbidez en 98 % y 90,76 % respectivamente, con un coagulante natural (*semillas de Moringa oleifera*). Por otro lado, Maurya y Daverey (2018), contraponen los resultados obtenidos; ya que, obtuvieron una baja remoción de turbiedad con coagulante natural, logrando remover el 59,6%

utilizando como coagulante polvo de cáscara de plátano; además, se removió SST en un 66,66 % con polvo de semilla de papaya, ambos con 400 mg/L de dosis. Asimismo, Irigoín Sánchez y Monteza Chamaya (2020), lograron remover la turbidez en un 43,46% con un tiempo de contacto de 3 horas y una concentración de 600 mg/L de semilla de tamarindo.

Con una dosis de 800 mg/L de almidón de papa y una duración de tratamiento de 30 minutos (5 minutos de agitación rápida, 15 minutos de agitación lenta y 10 minutos de sedimentación), se eliminaron el 95,93%, el 98,58% y el 96,35% del color, la turbidez y los SST, respectivamente. En cuanto a los valores de pH y conductividad del agua tratada, se logró una reducción de pH a 5,62 y la conductividad disminuyó considerablemente a 0,422 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Gonzales Gutierrez et al. (2022) obtuvieron resultados comparables utilizando un coagulante natural (*Opuntia ficus-indica*) y un coagulante químico (sulfato de aluminio) para tratar aguas servidas proveniente de un camal. Para conseguir una eficiencia de eliminación del 97,79% de la turbidez y del 98,99% de los SST, la dosis óptima de la acción combinada de los coagulantes (*Opuntia ficus-indica* y sulfato de aluminio) fue de 700 mg/L, y el tiempo óptimo de mezcla fue de 30 minutos, donde se minimizó a 1440,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad y pH se mantuvo en 7,0. Por otro lado, en el tratamiento de aguas residuales residenciales, Ortiz Alcocer et al. (2018) utilizaron 750 mg/L de almidón de yuca junto con 250 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, esta combinación produjo una eficiencia de eliminación del 75% para la turbidez y del 78% para el color. Asimismo, Massa Palacios (2021) estudió la efectividad de las semillas de guanábana como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales residenciales en Ica. Encontró que la dosis

ideal es 0.8 g/500 ml equivalente a 1600 mg/L de semilla de guanábana, lográndose una reducción de turbidez de 54.78%.

Respecto a la comparación de la eficacia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de efluentes procedentes del camal municipal de San Jerónimo. Con 600 mg/L de almidón de oca se observó un mayor porcentaje de eliminación de color, turbidez y SST que con 800 mg/L de almidón de papa; evidenciando que, el almidón de oca resulta ser más eficiente que el almidón de papa y a menor dosis (600 mg/L). Por otro lado, la acción conjunta del coagulante natural (almidón de oca y papa) con el sulfato férrico (400 mg/L) presentó mayores eficiencias de remoción. En ese sentido, Rivera Cardenas (2020) probó la eficiencia de un coagulante natural generado a partir de residuos vegetales de la cáscara de papa y lo comparó con el sulfato de aluminio en el proceso de eliminación de la turbidez de las aguas residuales, se logró obtener como dosis ideal a 250 mg/L de coagulante derivado de la cáscara de papa, lo cual registró una pobre eficiencia de eliminación del 59,65%; sin embargo, en el caso del sulfato de aluminio, se obtuvo un resultado superior con una dosis de 300 mg/L, obteniéndose una eficiencia de 96,47%.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1 Eficiencia de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

Ho: El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) no es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo

Ha: El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo

Para contrastar la hipótesis planteada, se realizó diferentes pruebas estadísticas por cada parámetro (color, turbidez, SST, conductividad y pH), y determinar la eficiencia del almidón de oca sobre cada parámetro en mención.

En ese sentido, primero se ha examinado la normalidad a través de la prueba Shapiro-Wilk (Tabla 14), de la eficiencia de remoción de color, turbiedad, SST y los parámetros de conductividad y pH de las aguas provenientes del camal municipal de San Jerónimo utilizando almidón de oca. Por lo manifestado, para determinar la normalidad se tienen como hipótesis:

Ho: Los datos siguen una distribución normal.

Ha: Los datos no siguen una distribución normal.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig <=0,05 se acepta la Ha

Tabla 14

Pruebas de normalidad

Parámetro	Dosis (mg/L)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
color	400	0,880	3	0,325
	600	0,812	3	0,144
	800	0,801	3	0,118
turbidez	400	0,886	3	0,342
	600	0,993	3	0,843
	800	0,815	3	0,150
SST	400	0,964	3	0,637
	600	0,964	3	0,637
	800	0,824	3	0,174

Conductividad	400	0,785	3	0,080
	600	0,776	3	0,058
	800	0,763	3	0,029
pH	400	0,824	3	0,174
	600	0,996	3	0,878
	800	0,923	3	0,463

Nota. Datos analizados y procesados en el SPSS.

En la Tabla 14, se muestra la prueba de normalidad de los datos y se observa que, la mayoría presenta un p valor mayor a 0,05, comprobándose que los datos tienen una distribución paramétrica-normal. Por ello, se utilizó el análisis de varianzas (ANOVA).

El estadístico empleado fue ANOVA de un factor, se recurrió a este estadístico porque se aplicó diferentes dosis de almidón de oca (400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L); es decir, se comparó todos estos grupos para saber cuál dosis presenta la mayor eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST.

➤ **Color**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de color con las distintas dosis de almidón de oca.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de color con las distintas dosis de almidón de oca.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig ≤0,05 se acepta la Ha

De la Tabla 15, vemos que el Sig.(p-valor) = 0.282 y es mayor que 0.05; por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula. Se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa en los porcentajes de remoción de color logrados con 400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L de almidón de oca; sin

embargo, se logró un mayor porcentaje de remoción (96.01%) con 600 mg/L de almidón de oca.

Tabla 15

Análisis ANOVA para color (tratamiento con oca)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	103,623	2	51,811	1,575	0,282
Dentro de grupos	197,379	6	32,897		
Total	301,002	8			

➤ **Turbidez**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de turbidez con las distintas dosis de almidón de oca.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de turbidez con las distintas dosis de almidón de oca.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig ≤0,05 se acepta la Ha

La Tabla 16 muestra que se acepta la hipótesis alterna, ya que el Sig.(p-valor) = 0,022 es inferior a 0,05. Los resultados muestran que varía el porcentaje de remoción de la turbidez utilizando distintas concentraciones de almidón de oca (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L).

Tabla 16

Prueba ANOVA para turbidez (tratamiento con oca)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,739	2	1,870	7,660	0,022
Dentro de grupos	1,464	6	0,244		
Total	5,204	8			

Se efectuó un análisis post hoc y una comparación por pares HSD de Tukey (ANOVA) para evaluar las diferencias entre las dosis, ya que existe una variación en el porcentaje de disminución de la turbidez con las distintas dosis de almidón de oca.

Pruebas post hoc de HSD de Tukey-Turbiedad

Se realizó la prueba de post hoc de HSD de Tukey, para determinar la mejor dosis de almidón de oca en la remoción de turbidez.

Tabla 17

Prueba de tukey para la determinación la dosis de almidón de oca con mayor % de remoción de turbidez

HSD Tukey ^a				
Muestra	N	Subconjunto para alfa =0,05		
		1	2	
Dosis 800 mg/L	3	a	97,188	
Dosis 400 mg/L	3	a	97,474	b 97,474
Dosis 600 mg/L	3			b 98,676

Nota. Se muestran las medias de los 3 grupos en análisis.

De la Tabla 17, la media de la eficiencia de remoción de turbidez de 800 y 400 mg/L comparten una letra (a) por lo que, no existe diferencia significativa entre ambas dosis; de igual manera, la media a 400 mg/L y 600 mg/L comparten la letra (b); por otro lado, la eficiencia de remoción de turbidez a 800 y 600 mg/L no comparten ninguna letra por lo que no son iguales. En ese sentido, la media de eficiencia de remoción de la dosis alta (600 mg/L) de 98,676% es mayor que la dosis baja y media; demostrando que, la dosis de 600 mg/L de almidón de oca es el mejor en la remoción de la turbidez.

➤ **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las distintas dosis de almidón de oca.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las distintas dosis de almidón de oca.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig <=0,05 se acepta la Ha

Tabla 18

Análisis ANOVA para SST (tratamiento con oca)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	42,647	2	21,324	5,524	0,044
Dentro de grupos	23,163	6	3,860		
Total	65,810	8			

La Tabla 18 muestra que se acepta la hipótesis alterna, debido a que el valor Sig.(p-valor) = 0,044 es inferior a 0,05. Los resultados exponen que existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las diferentes dosis de almidón de oca (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L).

Por ende, se procede a realizar un análisis post hoc HSD de Tukey, para determinar las diferencias existentes.

Pruebas post hoc de HSD de Tukey-SST

La dosis óptima de almidón de oca para la eliminación de SST se identificó mediante la prueba post hoc HSD de Tukey.

Tabla 19*Prueba de Tukey – SST*

HSD Tukey^a		
Muestra	N	Subconjunto para alfa =0,05
		1
Dosis 800 mg/L	3	^b 92,5926
Dosis 400 mg/L	3	^b 93,0159
Dosis 600 mg/L	3	^b 97,4074

Nota. Se muestran las medias de los 3 grupos en análisis.

De acuerdo a la Tabla 19, la media de la eficiencia de remoción de SST a 400, 600 y 800 mg/L de dosis de almidón de oca es significativamente igual; además, la media de la remoción de SST a dosis (600 mg/L) es de 97,4074%, el cual es mayor que la dosis baja y alta, demostrando que la dosis de 600 mg/L de almidón de oca es el mejor valor.

➤ **Conductividad**

Ho: No existe diferencia entre los valores de conductividad con las distintas dosis de almidón de oca.

Ha: Existe diferencia entre los valores de conductividad con las distintas dosis de almidón de oca.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig <=0,05 se acepta la Ha

Tabla 20*Análisis ANOVA para conductividad (tratamiento con oca)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	31733,265	2	15866,633	2,817	0,137
Dentro de grupos	33799,881	6	5633,313		
Total	65533,146	8			

En la Tabla 20, el Sig.(p-valor) = 0.137 indica que la hipótesis nula es aceptada ya que es mayor que 0.05. Según los resultados, no hay diferencia estadísticamente significativa en los porcentajes de conductividad a 400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L de almidón de oca.

➤ **pH**

Ho: No existe diferencia entre los valores de pH con las distintas dosis de almidón de oca.

Ha: Existe diferencia entre los valores de pH con las distintas dosis de almidón de oca.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig ≤0,05 se acepta la Ha

Tabla 21*Análisis ANOVA para pH (tratamiento con oca)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,008	2	0,004	1,770	0,249
Dentro de grupos	0,014	6	0,002		
Total	0,022	8			

Acorde a la Tabla 21, el Sig.(p-valor) = 0,249 el cual es mayor a 0,05, se acepta la hipótesis nula. Se concluye que, las medias entre los porcentajes de pH con las diferentes dosis de almidón de oca (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L) no tienen una diferencia significativa.

Comprobación de 600 mg/L (mejor dosis de almidón de oca) con la concentración inicial

Finalmente, para determinar la eficiencia del almidón de **oca** en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, se comparó la mejor dosis (600 mg/L) con la concentración inicial de las aguas residuales. Para tal fin, se plantea las siguientes hipótesis:

Ho: el promedio del color, turbiedad, SST, conductividad y pH no tiene diferencia significativa al valor inicial.

Ha: el promedio del color, turbiedad, SST, conductividad y pH tiene diferencia significativa al valor inicial.

La Tabla 22, resume el rendimiento de la prueba t de Student para los parámetros de color, turbiedad, SST, conductividad y pH, después de la remoción con 600 mg/L (mejor dosis) de almidón de oca.

Tabla 22

Prueba t de Student

Parámetro	Promedio	Valor prueba (valor inicial)	t	gl	Valor p
Color (UPC)	64,33	1178	-72,425	2	0,001
Turbiedad (UNT)	7,27	549	-2671,81	2	0,001
SST (mg/L)	16,33	630	-695,83	2	0,001
Conductividad (μ S/cm)	142,72	484,5	-4,789	2	0,041
pH	5,76	7,75	-76,195	2	0,001

Interpretación: Para todos los parámetros (color, turbiedad, SST, conductividad y pH), los promedios obtenidos son menores a los valores iniciales. A su vez, de acuerdo a la Tabla 22, todas las pruebas obtenidas presentan un p -valor $< 0,05$; por ende, se acepta la hipótesis alterna: “El almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo”.

4.3.2 Eficiencia de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

Ho: El almidón de papa (***Solanum tuberosum***) no es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

Ha: El almidón de papa (***Solanum tuberosum***) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

Para contrastar la hipótesis planteada, se realizó diferentes pruebas estadísticas por cada parámetro (color, turbidez, SST, conductividad y pH), y determinar la eficiencia del almidón de papa sobre cada parámetro en mención.

En ese sentido, primero se ha examinado la normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 23), de la eficiencia de remoción de color, turbiedad, SST y los parámetros de conductividad y pH de las aguas servidas del camal municipal de San Jerónimo utilizando almidón de papa. Por lo manifestado, para determinar la normalidad se tienen como hipótesis:

Ho: Los datos siguen una distribución normal.

Ha: Los datos no siguen una distribución normal.

Dónde: Sig $> 0,05$ se acepta la Ho y Sig $\leq 0,05$ se acepta la Ha

Tabla 23*Pruebas de normalidad*

Parámetro	Dosis (mg/L)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
color	400	0,869	3	0,293
	600	0,956	3	0,598
	800	0,831	3	0,191
turbidez	400	0,990	3	0,806
	600	0,983	3	0,751
	800	0,999	3	0,935
SST	400	0,980	3	0,726
	600	0,987	3	0,780
	800	0,750	3	0,000
Conductividad	400	0,765	3	0,034
	600	0,807	3	0,130
	800	0,819	3	0,161
pH	400	0,941	3	0,533
	600	0,892	3	0,359
	800	0,999	3	0,940

La Tabla 23 muestra la prueba de normalidad de los datos, que revela que la mayoría de ellos tienen un valor p superior a 0,05, lo que indica que los datos tienen una distribución paramétrica normal; por lo tanto, se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

El estadístico empleado fue ANOVA de un factor, se recurrió a este estadístico porque se aplicó diferentes dosis de almidón de papa (400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L); es decir, se comparó todos estos grupos para saber cuál dosis presenta la mayor eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST.

➤ **Color**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de color con las distintas dosis de almidón de papa.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de color con las distintas dosis de almidón de papa.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig ≤0,05 se acepta la Ha

Acorde a la Tabla 24, el Sig.(p-valor) = 0,775 el cual es mayor a 0,05, se acepta la hipótesis nula. Por lo que se concluye, las medias entre los porcentajes de remoción de color con las distintas dosis de almidón de papa (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L) no tienen una diferencia significativa; sin embargo, a dosis de 800 mg/L de almidón de papa se tiene un porcentaje de remoción mayor (95,93%).

Tabla 24

Análisis ANOVA para color (tratamiento con papa)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	49,681	2	24,841	0,266	0,775
Dentro de grupos	560,738	6	93,456		
Total	610,419	8			

➤ **Turbidez**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de turbidez con las distintas dosis de almidón de papa.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de turbidez con las distintas dosis de almidón de papa.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig <=0,05 se acepta la Ha

Teniendo en cuenta que el Sig. (valor p) de la Tabla 25 = 0,013, que es inferior a 0,05, se acepta la hipótesis alterna. Se concluye que, existe una diferencia en los porcentajes de eliminación de turbidez conseguidos utilizando almidón de papa a tres concentraciones diferentes (400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L).

Tabla 25

Prueba de ANOVA para turbidez (tratamiento con papa)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,849	2	0,925	9,759	0,013
Dentro de grupos	0,568	6	0,095		
Total	2,418	8			

Dado que, existe diferencia entre los porcentajes de eliminación de turbidez con las diferentes dosis de almidón de papa, y para reforzar los resultados, se realizó un análisis post hoc y comparación en parejas de HSD de Tukey (ANOVA) para establecer las diferencias entre las dosis.

Pruebas post hoc de HSD de Tukey-turbiedad

Con el fin de encontrar la dosis óptima de almidón de papa para la reducción de la turbidez, se llevó a cabo la prueba post hoc HSD de Tukey.

Tabla 26

Prueba de tukey para la determinación la dosis de almidón de papa con mayor % de remoción de turbidez

HSD Tukey^a			
Muestra	N	Subconjunto para alfa =0,05	
		1	2
Dosis 400 mg/L	3	a 97,359	
Dosis 600 mg/L	3		b 98,154
Dosis 800 mg/L	3		b 98,427

Nota. Se muestran las medias de los 3 grupos en análisis.

De la Tabla 26, la media de la eficiencia de remoción de turbidez de 600 y 800 mg/L comparten una letra (b) por lo que, no existe diferencia significativa entre ambas dosis; por otro lado, la eficiencia de remoción de turbidez a 800 mg/L y 600 mg/L (b) con 400 mg/L (a), no comparten ninguna letra por lo que no son iguales; en ese sentido, la media de eficiencia de remoción de la dosis alta (800 mg/L) de 98,427% es mayor que la dosis baja y media; demostrando que, la dosis de 800 mg/L de almidón de papa es el mejor en la remoción de la turbidez.

➤ **SST**

Ho: No existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las distintas dosis de almidón de papa.

Ha: Existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las distintas dosis de almidón de papa.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig <=0,05 se acepta la Ha

Tabla 27*Prueba de ANOVA para SST (tratamiento con papa)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,453	2	5,227	6,839	0,028
Dentro de grupos	4,586	6	0,764		
Total	15,039	8			

La hipótesis alterna se acepta ya que la Tabla 27 muestra Sig.(p-valor) = 0,028, inferior a 0,05. Se concluye que, existe diferencia entre los porcentajes de remoción de SST con las diferentes dosis de almidón de papa (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L).

Por ende, se procede a realizar un análisis post hoc HSD de Tukey, para determinar las diferencias existentes.

Pruebas post hoc de HSD de Tukey-SST (papa)

Con el fin de encontrar la dosis óptima de almidón de papa para la reducción de los SST se llevó a cabo la prueba post hoc HSD de Tukey.

Tabla 28*Prueba de tukey – SST*

HSD Tukey ^a					
Muestra	N	Subconjunto para alfa =0,05			
		1		2	
Dosis 400 mg/L	9	a	93,757		
Dosis 600 mg/L	9	a	95,767	b	95,767
Dosis 800 mg/L	9			b	96,243

Nota. Se muestran las medias de los 3 grupos en análisis.

De la Tabla 28, la media de la eficiencia de remoción de SST de 400 y 600 mg/L concuerdan una letra (a) por lo que, no existe diferencia significativa entre ambas dosis; de igual manera, la media a 600 mg/L y 800 mg/L comparten la letra (b). En ese sentido, la media de eficiencia de remoción de SST de la dosis (800 mg/L) es de 96,243 % y es mayor que la dosis baja y alta; demostrando que, la dosis de 800 mg/L de almidón de papa es el mejor en la remoción de SST.

➤ **Conductividad**

Ho: No existe diferencia entre los valores de conductividad con las distintas dosis de almidón de papa.

Ha: Existe diferencia entre los valores de conductividad con las distintas dosis de almidón de papa.

Dónde: Sig >0,05 se acepta la Ho y Sig ≤0,05 se acepta la Ha

Tabla 29

Prueba de ANOVA para conductividad (tratamiento con papa)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	25512,990	2	12756,495	3,191	0,114
Dentro de grupos	23983,576	6	3997,263		
Total	49496,566	8			

De la Tabla 29, acorde al Sig.(p-valor) = 0,114 el cual es superior a 0,05, se acepta la hipótesis nula. Se concluye que, las medias entre los porcentajes de conductividad con las diferentes dosis de almidón de papa (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L) no tienen una diferencia significativa.

➤ **pH**

Ho: No existe diferencia entre los valores de pH con las distintas dosis de almidón de papa.

Ha: Existe diferencia entre los valores de pH con las distintas dosis de almidón de papa.

Tabla 30

Prueba de ANOVA para pH (tratamiento con papa)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,030	2	0,015	0,754	0,510
Dentro de grupos	0,120	6	0,020		
Total	0,151	8			

Acorde a la Tabla 30, el Sig.(p-valor) = 0,510 el cual es mayor a 0,05, Se acepta la hipótesis nula. Se concluye que, las medias entre los porcentajes de pH con las diferentes dosis de almidón de papa (400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L) no tienen una diferencia significativa.

Comprobación de reducción de los niveles de los diferentes parámetros con 800 mg/L almidón de papa

Finalmente, para determinar la eficiencia del almidón de papa (*Solanum tuberosa*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, se comparó la mejor dosis (800 mg/L) con la concentración inicial de las aguas residuales. Para tal fin, se plantea las siguientes hipótesis:

Ho: el promedio del color, turbiedad, SST, conductividad y pH no tiene diferencia significativa al valor inicial.

Ha: el promedio del color, turbiedad, SST, conductividad y pH tiene diferencia significativa al valor inicial.

La Tabla 31, resume el rendimiento de la prueba t de Student para los parámetros de color, turbiedad, SST, conductividad y pH, después de la remoción con 800 mg/L (mejor dosis) de almidón de papa.

Tabla 31

Prueba de t para comparar con valores iniciales

Parámetro	Promedio	Valor prueba (valor inicial)	t	gl	Valor p
Color UPC	163,00	1178	-10,306	2	0,009
Turbiedad UNT	8,633	549	-1100,47	2	0,001
SST mg/L	23,667	630	-1819,0	2	0,001
Conductividad μ S/cm	0,1767	484,5	-3934,19	2	0,001
pH	5,73	7,75	-31,41	2	0,001

Interpretación: Para todos los parámetros (color, turbiedad, SST, conductividad y pH), los promedios obtenidos son menores a los valores iniciales. A su vez, de acuerdo a la Tabla 31, todas las pruebas obtenidas presentan un p-valor < 0,05; por ende, se acepta la hipótesis alterna: “El almidón de papa (***Solanum tuberosum***) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo”.

En consecuencia, los resultados conseguidos respecto a la eficiencia del almidón de oca y papa, nos permiten responder a la hipótesis general planteada, donde se acepta la hipótesis alterna que: “*El almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) y papa (***Solanum tuberosum***) son eficientes en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, 2022.*”

4.3.3 Comparación de la eficiencia de almidón de oca (600 mg/L) y papa (800 mg/L)

Ho: La eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) es igual que el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo

Ha: El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) es más eficiente que el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo

Tabla 32

Prueba t para muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Color	No se asumen varianzas iguales	10,201	0,033	0,99	2,09	0,422	8,37578	8,46209	-26,459	43,21135
Turbiedad	Se asumen varianzas iguales	1,301	0,318	2,57	4	0,062	0,24894	0,09677	-0,0197	0,51760
SST	Se asumen varianzas iguales	2,571	0,184	7,77	4	0,001	1,16402	0,14965	0,7485	1,57952

En la Tabla 32, el valor p del color (0,422) muestra que la diferencia no es estadísticamente significativa. De igual forma, para la turbiedad el valor p encontrado (0,062) señala que la diferencia no es estadísticamente significativa. Sin embargo, en el caso de los SST el valor p (0,001) señala que la diferencia observada es estadísticamente significativa.

Tabla 33*Media de eficiencia de remoción con almidón de oca y papa*

	grupo	N	Media
color	oca	3	94,5388
	papa	3	86,1630
turbiedad	oca	3	98,6764
	papa	3	98,4274
SST	oca	3	97,4074
	papa	3	96,2434

Finalmente, la Tabla 33 muestra una mayor media para el almidón de oca en cada parámetro: color (94,5388), turbiedad (98,6764) y SST (97,4074) en comparación con la media obtenida para el almidón de papa, color (86,1630), turbiedad (98,4274) y SST (96,2434). Por ende, se acepta la hipótesis alterna de la investigación: *El almidón de oca (**Oxalis tuberosa**) es más eficiente que el almidón de papa (**Solanum tuberosum**) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.*

Comprobación de eficiencia de remoción con 600 mg/L de almidón de oca con eficiencia de remoción a 400 mg/L de sulfato férrico sin el almidón.

Ho: El promedio de eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST con 600 mg/L de almidón de oca es igual a la eficiencia de remoción a 400 mg/L de sulfato férrico sin el almidón

Ha: el promedio de eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST con 600 mg/L de almidón de oca es mayor que la eficiencia de remoción a 400 mg/L de sulfato férrico sin el almidón

El siguiente cuadro sintetiza el rendimiento de la prueba t de Student para los porcentajes de reducción de color, turbiedad y SST.

Tabla 34

Prueba t para comparar 400 mg/L de sulfato férrico y 600 mg/L de oca

Parámetro	Promedio a 600 mg/L de oca	Valor prueba (valor a 400 mg/L de sulfato ferrico)	t	gl	Valor p
Color	94,54	92,78	1,347	2	0,310
Turbiedad	98,68	76,68	595,58	2	0,001
SST	97,41	94,60	20,055	2	0,002

La eficiencia de remoción de color no presenta diferencia significativa p valor > 0,05; en cuanto la turbiedad y SST el valor p son menores a 0,05, se acepta la hipótesis alterna de la investigación. Finalmente, todos los valores promedio de eficiencia de remoción de color, turbiedad y SST son mayores a los valores obtenidos utilizando solo a 400 mg/L de sulfato férrico.

CONCLUSIONES

- Se concluye que, el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) son eficientes en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo; ya que, el almidón de oca removió el color, turbiedad y SST en un 96,01%, 98,74% y 97,62% respectivamente, a una dosis de 600 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico, tiempo óptimo de tratamiento de 30 min, y valores finales de pH \approx 5,72 y conductividad 210,3 μ S/cm. Similarmente, la eficiencia del almidón de papa en la remoción de color, turbiedad y SST fue de 95,93%, 98,58% y 96,35% respectivamente, a una dosis de 800 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico, 30 minutos de tratamiento y valores finales de pH \approx 5,62 y conductividad 0,422 μ S/cm.
- Los valores iniciales del agua residual del camal municipal de San Jerónimo, fueron: color (1178 UPC), turbiedad (549 UNT), SST (630 mg/L), conductividad (484,5 μ S/cm) y pH (7,74); de los cuales, todos los parámetros se sitúan por encima de los valores permitidos en el DS N° 010-2019-VIVIENDA (VMA), y DS N° 004-2017-MINAM (ECA-agua); a excepción del pH (7,74), que se encuentra dentro del Valor Máximo Admisible (6-9) establecido en el DS N° 010-2019-VIVIENDA, referido a la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
- Para extraer almidón de oca se utilizó 5 kg de materia prima, se logró extraer 0.68 kg de almidón que representa un 13,6% de rendimiento. De la misma forma, para extraer almidón de papa se utilizó la variedad Yungay, con un peso neto de 5 kg de materia prima y el proceso de extracción se realizó

considerando la siguiente metodología: recepción, lavado, pelado, molienda, filtración, sedimentación y secado; lo cual, se logró extraer 0.615 kg de almidón de papa que representa un 12,3% de rendimiento. Por consiguiente, la oca (***Oxalis tuberosa***) presenta mayor contenido de almidón que la papa (***Solanum tuberosum***).

- La eficiencia del almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, en cuanto al color no hubo diferencia significativa entre las dosis (400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L) y tiempos evaluados (25 min, 30 min y 35 min); pero, presenta mayor porcentaje de remoción (96,01 %) a 600 mg/L. Para la turbiedad presentó diferencias significativas, resultando mayor remoción a una dosis de 600 mg/L (98,74%); asimismo, para SST se encontró diferencias significativas, consiguiendo una mayor remoción a una dosis de 600 mg/L (97,62%), en cuanto a los valores de conductividad y pH no se encontró diferencia significativa entre las dosis y tiempos evaluados; por ende, la dosis más óptima es 600 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico, existiendo una diferencia significativa de remoción de color (1178 UPC a 47 UPC), turbiedad (549 UNT a 6,9 UNT) y SST(630 mg/L a 15 mg/L), con un tiempo de tratamiento óptimo de 30 min (velocidad rápida de 160 RPM por 5 minutos, velocidad lenta de 60 RPM por 15 minutos y tiempo de sedimentación de 10 minutos); por lo tanto, el almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.
- La eficiencia del almidón de papa (***Solanum tuberosum***) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, en cuanto al color no hubo diferencia significativa entre las dosis (400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L) y

tiempos evaluados (25 min, 30 min y 35 min), pero con mayor porcentaje (95,93%) a 800 mg/L. Para la turbiedad presentó diferencias significativas, resultando mayor remoción a una dosis de 800 mg/L (98,58%); asimismo, para SST se encontró diferencias significativas, consiguiendo una mayor remoción a una dosis de 800 mg/L (96,35%), en cuanto a los valores de conductividad y pH no se encontró diferencia significativa entre las dosis y tiempos evaluados; por ende, la dosis más óptima es 800 mg/L con la acción conjunta de 400 mg/L de sulfato férrico, existiendo una diferencia significativa de remoción de color (1178 UPC a 48 UPC), turbiedad (549 UNT a 7,8 UNT) y SST(630 mg/L a 23 mg/L), con un tiempo de tratamiento óptimo de 30 min (velocidad rápida de 160 RPM por 5 minutos, velocidad lenta de 60 RPM por 15 minutos y tiempo de sedimentación de 10 minutos); por lo tanto, el almidón de papa es eficiente en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo.

- La eficiencia del almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) a 600 mg/L (mejor dosis) y el almidón de papa (***Solanum tuberosum***) a 800 mg/L (mejor dosis) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo, no se encontró diferencias significativas en la remoción de color y turbiedad, pero las medias de porcentaje de remoción fueron mayores con el almidón de oca (600 mg/L); en cuanto a los SST la diferencia observada es estadísticamente significativa, siendo la mayor eficiencia de remoción con almidón de oca (600 mg/L). Concluyendo que, el almidón de oca (***Oxalis tuberosa***) a 600 mg/L alcanzó una eficiencia de remoción máxima, en comparación al almidón de papa (***Solanum tuberosum***) a 800 mg/L.

RECOMENDACIONES

- Probar la eficiencia de la acción combinada del coagulante natural (almidón de oca y papa) y el sulfato férrico utilizando aguas industriales con diferentes características fisicoquímicas.
- Realizar un estudio de la viabilidad económica del coagulante natural derivado del almidón de oca y papa para determinar su rentabilidad.
- Realizar investigaciones similares con otras especies naturales del país, para comparar la capacidad de remoción de turbidez, color y SST en aguas residuales de camal.
- Para reducir la tasa de error estadístico, los estudios futuros deberían incluir réplicas adicionales para cada parámetro analizado.
- Para fomentar investigación en tratamiento de aguas residuales, se recomienda a la UTEA, la implementación del laboratorio con un equipo de prueba de jarras, para realizar ensayos de simulación de las etapas de coagulación y floculación.

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Recursos

A. Recursos Humanos:

- Gerente del Camal Municipal
- Personal del camal Municipal
- Especialista de laboratorio de la UNAJMA
- Asesor de investigación

B. Recursos Materiales y Equipos

- Balanza analítica (OHAUS PIONER)
- Multiparámetro (HANNA HI5522-01)
- Espectrofotómetro (IRIS HANNA - HI801)
- Turbidímetro (HACH - 2100Q)
- Equipo de Prueba de Jarras (Phipps & Bird)
- Estufa de Secado (MEMMERT)
- Guantes
- Tamiz
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Varilla
- Vaso de precipitación
- Embudo
- Pipeta
- Filtro
- Vasos de precipitación

Cronograma de actividades

Tabla 35

Cronograma de actividades

Actividades	2022				2023															
	Diciembre				Junio				Julio				Agosto				Setiembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elaboración plan de tesis	X	X	X	X																
Realización del capítulo I y Búsqueda de información	X	X																		
Realización del capítulo II, correspondiente al marco teórico			X	X																
Realización del capítulo III, correspondiente a la metodología					X	X														
Validez y confiabilidad							X													
Análisis de datos							X													
Aspectos administrativos								X												
Presentación del proyecto								X												
Aplicación instrumentos									X											
Procesamiento, análisis e interpretación de resultados										X	X	X								
Discusión, conclusiones y Recomendaciones													X	X	X					
Levantamiento observaciones															X	X	X			
Sustentación de tesis																				X

Presupuesto y financiamiento

Presupuesto

➤ Materiales de escritorio

Tabla 36

Materiales de escritorio

Materiales	Cantidad	Precio/Unidad (s/)	Total (s/)
Papel bond A4 de 80gr	1 millar	30.00	30.00
Disco duro externo	1	250.00	250.00
Impresora multifuncional	1	599.00	600.00
Otros útiles de Escritorio: Folders, lapiceros, etc.	Global	20.00	20.00
Sub Total			900.00

Fuente: Elaboración propia

➤ Materiales- toma de muestras

Tabla 37

Materiales para la toma de muestras

Materiales	Cantidad	Precio/Unidad (s/)	Total (s/)
Guardapolvo	2	50.00	100.00
GPS	1	1500.00	1500.00
Recipientes de 1L esterilizados	10	20.00	200.00
Caja de refrigeración	1	70.00	70.00
Guantes	12	2.00	24.00
Mascarilla	6	5.00	30.00
Libreta de campo	2	10.00	20.00
Lapicero	2	1.00	2.00
Cámara fotográfica	1	200.00	200.00
Sub Total (s/)			2146.00

Fuente: Elaboración propia

➤ **Materiales utilizados en el laboratorio**

Tabla 38

Materiales utilizados en el laboratorio

Materiales	Cantidad	Precio/Unidad (s/)	Total (s/)
Alquiler balanza analítica.	1	50.00	50.00
Alquiler Turbidímetro	1	400.00	400.00
Alquiler Espectrofotómetro	1	500.00	500.00
Alquiler equipo de Prueba de Jarras	1	300.00	300.00
Alquiler Termómetro digital	1	200.00	200.00
Alquiler Medidor de pH	1	150.00	150.00
Alquiler Estufa de Secado	1	150.00	150.00
Probeta	2	20.00	40.00
Vasos de precipitación	2	11.00	22.00
Vasos de precipitación	2	26.00	52.00
Varilla	1	12.00	12.00
Fiola	2	90.00	180.00
Vaso de precipitación	2	13.00	26.00
Embudo	1	25.00	25.00
Pipeta	2	25.00	50.00
Filtro	1	138.00	138.00
Vasos de precipitación	2	26.00	52.00
Sub Total			2347.00

Fuente: Elaboración propia

➤ **Servicios**

Tabla 39

Servicios

Detalle	Cantidad	Valor (s/)	Total (s/)
Viáticos	2	500.00	1000.00
Copias	500	0.10	50.00
Servicios Personales	2	200.00	400.00
Servicios de Internet	2	100.00	200.00
Sub Total			1650.00

Fuente: Elaboración propia

➤ **Monto total**

Tabla 40

Monto total

Detalle	Total (s/)
Sub total 1	
Materiales de escritorio	900.00
Sub total 2	
Materiales para la toma de muestras	2146.00
Sub total 3	
Materiales utilizados en el laboratorio	2347.00
Sub total 4	
Servicios	1650.00
Total	7043.00

Fuente: Elaboración propia

Financiamiento

Este estudio fue financiado únicamente por los investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulateef, M., Faihaa, H., Ahmed, A., & Najem, A. (2020). Sewage Water Treatment of Chemistry Department in College of Science-Diyala University. *Revisiónes Sistemáticas en Farmacia*, 11(12), 1-6. Retrieved from <https://web.s.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=09758453&AN=156331788&h=kirzV3OYzSO2Ynnp0W4Ad0c6mU1GyHXFStRJB6FRVxDypPuVR45sJj2os36HSqMyJMz54N9CnTpgHT1VCbQiBA%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=Er>
- Aksoy, E., Demirel, U., Bakhsh, A., Abu, M., Naim, M., Said, F., . . . Emin, M. (2021). Avances Recientes en el Mejoramiento de la Papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos vegetales*. Springer, 409–487. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-66965-2_10#citeas
- Alarcon, R., & Espinoza, E. (2020). *Análisis bibliométrico sobre el uso de coagulantes y floculantes naturales para mejoramiento de la calidad del agua*. Tesis para obtener el título profesional de: Ingeniero Ambiental, Universidad Cesar Vallejo. Retrieved from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/61482/Alarcon_ERD-Espinoza_REF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aleksic, N., Nesovic, A., Sustersic, V., Gordic, D., & Milanovic, D. (2020). Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia. *Desalination and Water Treatment*, 190(1), 98-112. Retrieved from https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_190_papers/190_2020_98.pdf
- Ali, M., & Idrus, S. (2021). Physical and Biological Treatment Technologies of Slaughterhouse Wastewater: A Review. *Sustainability*, 13(9), 1-20. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/4656>
- Apaza Morocco, B. D. (2018). *Extracción y caracterización del almidón de oca (Oxalis tuberosa) de la variedad k'ellu kamusa*. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1640>

- Aquino, K., & Tovar, M. (2021). *Eficiencia de remoción de plomo (II) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cascara de papa (Solanum tuberosum) como coagulante natural*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru. Retrieved from https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6862/T010_70042501_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arévalo, A. (2017). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón de Oca (Oxalis tuberosa)*. Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo. Retrieved from <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10016/Ar%c3%a9valo%20Minchola%20Alejandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Arequipa: Enfoques consulting EIRL. Retrieved from file:///C:/Users/HP/Downloads/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o_y_metodologia_de_la_investigacion.pdf
- Aziz, H., & Sobri, N. I. M. (2015). Extraction and application of starch-based coagulants from sago trunk for semi-aerobic landfill leachate treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(21), 16943-16950. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4895-7>
- Azrina, M., Maya, R., Ali, A., Gheethi, A., & Hashim, A. (2018). Characteristics of Chicken Slaughterhouse Wastewater. *Chemical engineering transactions*, 63(1), 1-6. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Adel-Al-Gheethi/publication/325036983_Characteristics_of_Chicken_Slaughterhouse_Wastewater/links/5af2bf9e458515c283797d75/Characteristics-of-Chicken-Slaughterhouse-Wastewater.pdf
- Baoyu, F., Caiyu, Q., Wang, W., & Shen, X. (2019). The Combination of Coagulation and Adsorption for Controlling Ultra-Filtration Membrane Fouling in Water Treatment. *Shandong Key Laboratory of Water Pollution Control and Resource Reuse*, 11(90), 1-13. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/90/pdf>

- Becerra, L., Horna, M., & Barrionuevo, K. (2016). Influencia de microorganismos nativos en el tratamiento de efluentes residuales de camales. *Artículo original*, 8(1), 1-4. Retrieved from <http://cmhnaaa.org.pe/ojs/index.php/rcmhnaaa/article/view/231/188>
- Bolívar, S., Castaño, D., & Gutiérrez, O. (2021). Modelo Correlacional de Sólidos Suspendidos Totales. *Unilasallista*, 16(1), 1-12. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v16n1/1909-0455-pml-16-01-186.pdf>
- Brookshire, B. (2019). *Scientists Say: pH*. Retrieved 07 19, 2022, from <https://www.sciencenewsforstudents.org/article/scientists-say-ph>
- Burhanuddin, M., Syamimi, N., Hussein, N., Sillanpää, M., & Prasetyo, D. (2021). Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant. *Biology and Pollution*, 7(3), 379-391. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-021-00191-7>
- Burkhart, K., Bernhardt, C., Pelton, T., Schaeffer, E., & Philips, A. (2018). *Water Pollution from Slaughterhouses*. Environmental integrity project.
- Cainaba, 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*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá. Retrieved from <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25497/AlirioAlonsoCainaba2020.pdf?sequence=6>
- Chalco Flores, M. H. (2016). *Determinación de la eficiencia del almidón de papa (Solanum Tuberosum) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2463>
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes. *Tecnología Química*, 38(2), 2224-6185. Retrieved from <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4455/445558422008/445558422008.pdf>

- Choque, Y. (2021). *Extracción de coagulantes de cactáceas por liofilización para el tratamiento de agua de consumo humano*. [Tesis de maestría, Universidad Andina del Cusco]. Retrieved from https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4525/Yudit_h_Tesis_doctorado_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choque Quispe, Y. (2016). *Optimización de la capacidad floculante de dos especies de cactáceas en el tratamiento de aguas residuales* [Tesis de Licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/3963/Tesis_Optimizaci%c3%b3n_Capacidad_Floculante_Especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chuquilín, R., Martínez, M., & Rodrigo, J. (2020). Propiedades funcionales de productos tradicionales congelados y secados al sol de Oca (*Oxalis tuberosa molina*) y olluco (*Ullucus tuberosus* caldas): Una revisión. *Revista de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta*, 2(3), 247–263. Retrieved from <https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.100>
- Cirelli, A. F. (2012). *El agua: Un recurso esencial*. 11. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Czemierska, M., Szcześ, A., & Jarosz, A. (2021). Factores fisicoquímicos que afectan las propiedades floculantes del proteoglicano aislado de *Rhodococcus opacus*. *Química biofísica*, 277(1), 1-10. Retrieved from <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301462221001381?token=EE23E2ADDC28B970D9B3A26E5D55D9F597C21B529B813FC9CFCAFA599262C7E59D306714C0086066296A395A124814EC&originRegion=us-east-1&originCreation=20220720175711>
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): Optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>

- Dussán, S., Hurtado, D., & Camacho, J. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Universidad Nacional de Colombia*, 30(5), 1-8. Retrieved from https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500003
- Espinoza, S. (2017). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del Distrito de Tután*. Chiclayo: Universidad de Lambayeque. Retrieved from <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/111/3/TESIS%202017%20SALLY.pdf>
- Farooq, R., & Ahmad, Z. (2017). Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales y valorización de recursos*, 1(1), 153-174. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dhCQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA153&dq=slaughterhouse+wastewater&ots=Hs5xwMx4zE&sig=ITNBmLgHYz4a4-5i-ceifA7JMBk#v=onepage&q=slaughterhouse%20wastewater&f=false>
- Febrina, W., Mesra, T., & Hendra, A. (2020). Optimum Dosage of Coagulant and Flocculant on Sea Water Purification Process. 1(1), 1-8. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/469/1/012023/pdf>
- Fernández, L. (2021). *Optimización de los procesos de coagulación y floculación en los sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable, 2010-2020. Una revisión sistemática*. Trabajo de investigación para optar al grado de: Bachiller en Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Norte . Retrieved 07 22, 2022, from <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25929/Trabajo%20de%20Investigaci%c3%b3n%20%2820%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García-Morales, M. A., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C., Miranda, V. M., Hernández, P. B., & Silva, T. B. P. (2013). *Integrated Advanced Oxidation Process (Ozonation) and Electrocoagulation Treatments for Dye Removal in*

Denim Effluents. International Journal of Electrochemical Science, 8(6), 8752-8763. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)12925-7](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)12925-7)

Gonzales Gutierrez, K. G., Meneses Flores, N. M., & Sanchez Caycho, M. E. (2022). *Acción conjunta de coagulantes (Opuntia ficus-indica—Sulfato de aluminio) para la reducción de contaminantes del agua residual del camal de res, distrito San Vicente – provincia de Cañete, 2022*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7564>

González, Y., Salamanca, J., & Vargas, J. (2018). Uso de almidón de papa modificado como agente acoplante en compuestos polímero-fibras de madera. *Prospectiva*, 16(1), 107-113. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/4962/496259178013/496259178013.pdf>

Gronerth, M. (2017). *ratamiento de Aguas Residuales en el Camal de Ahuashiyacu*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín. Retrieved from <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2578/FIAI%20-%20Merling%20Gronerth%20Saavedra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HANCCO A. 2007. Evaluación de las características de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule aellen*) cupi y ramis. Puno - Perú.

Hernández, A. N., Méndez-Montevalvo, G., Velázquez Del Valle, M. G., Solorza-Feria, J., & Bello-Pérez, L. A. (2004). Isolation and Partial Characterization of Mexican Oxalis tuberosa Starch. *Starch - Stärke*, 56(8), 357-363. <https://doi.org/10.1002/star.200300235>

Herrera, J. (2018). Mejora en la eficiencia y en el ambiente de trabajo en Texgroup S.A. *Ingeniería Industrial*, 1(36), 1-24. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/3374/337458057003/337458057003.pdf>

Huaranga Yupanqui, J. O., & Vilcarano Castellanos, D. J. (2019). *Efectividad del coagulante obtenido de residuos de papa (Solanum tuberosum) en la turbidez para la potabilización del agua*. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6114>

- Hurtado Vander Schatte Olivier, J. M., & Yarleque Navarro, E. I. (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". Repositorio institucional – UNAC. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3822>
- Hussain, S., Sattar, A., & Ahmad, A. (2019). Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water. *Helion*, 5(3), 1-10. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844018367690>
- Irigoín Sánchez, A. L., & Monteza Chamaya, P. E. (2020). Remoción de la concentración de materia orgánica en aguas residuales del camal de José Leonardo Ortiz usando semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*). <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8903>
- Jun, H., Lee, D., Hee, C., & Woo, H. (2020). Statistical correlation of ecotoxicity and water quality parameters in slaughterhouse wastewater. *Geoquímica Ambiental y Salud*, 42, 1671-1680. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-019-00314-6>
- Kweiyor, E., & Rathilal, S. (2019). Aplicación de Coagulantes Orgánicos en el Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales. 1-146. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/65706>
- Ma, X., Wu, S., Shekhar, N., Biswas, S., & Kumar, A. (2020). Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Niveles de Metales Pesados en Aguas Residuales Alimentarias con Efectos Ambientales. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 1(1), 1-9. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7455830/pdf/BCA2020-8886093.pdf>
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry*: X, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>

- Mayhua Daviran, V. D., & Quijada Caro, E. E. (2019). *Evaluación de la materia orgánica y turbidez del agua residual vehicular con Opuntia ficus en el proceso de coagulación*. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6026>
- Massa Palacios, L. A. (2021). *Semillas de guanabana (anona moricata) como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Cercado de Ica-2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.13028/3367>
- Makhtar, N. S. M., Idris, J., Musa, M., Andou, Y., Ku Hamid, K. H., & Puasa, S. W. (2020). Plant-Based Tacca leontopetaloides Biopolymer Flocculant (TBPF) Produced High Removal of Turbidity, TSS, and Color for Leachate Treatment. *Processes*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/pr8050527>
- Maurya, S., & Daverey, A. (2018, January). *Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment*. *Shri Ramswaroop Memorial University*, 8(1). Retrieved from 10.1007/s13205-018-1103-8
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). *REMOCIÓN DE CROMO Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE POR ELECTROCOAGULACIÓN*. *Rev Soc Quím Perú*, 83(3), 1-10. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n3/a08v83n3.pdf>
- Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., & Orrego-Zapo, S. (2020). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: Proceso fenton. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 165-174.
- Mesa, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., & Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6340617.pdf>

- Morillo, A., Morillo, Y., & Leguizamo, M. (2019). Caracterización morfológica y molecular de *Oxalis tuberosa* Mol. en el departamento de Boyacá. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 18-28. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v21n1/0123-3475-biote-21-01-18.pdf>
- Murrillo, S., Matilde, G., & Pacheco, S. (2020). Manual técnico para la elaboración de Coagulantes/Floculantes a partir de productos naturales. *SENA Sistema de Bibliotecas*, 48-51. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/344166357_MANUAL_TECNICO_PARA_LA_ELABORACION_DE_COAGULANTES_FLOCULANTES_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_NATURALES
- Nolasco Carbajal, G. (2020). *Goma de tara (Caesalpinia Spinosa) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018* [Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/276>
- Oñate, H., & Chinchilla, M. (2021). Polielectrolito catiónico como coagulante empleado para remover aceites y grasas de aguas residuales de una industria láctea. *Tecnura*, 25(69), 120-130. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/2570/257070003005/>
- Ortega, A., & Sánchez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121-134. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/911/91170297009/91170297009.pdf>
- 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. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 7(13), 18-46.
- Ortiz, L., & Ángeles, M. (2019). *Prueba de jarras (jar test)*. Retrieved 07 19, 2022, from [Research Gate](https://www.researchgate.net) :

https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test

- Ortiz, V., López, G., Torres, C., & Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 1-29. Retrieved from <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/73/341>
- Pallo, E., Guapi, A., & Mullo, V. (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua. *Siembra*, 8(1), 1-19. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/6538/653869486003/653869486003.pdf>
- Parra, L., Rocher, J., Escriva, J., & Lloret, J. (2018). Design and development of low cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. *Aquacultural Engineering*, 81(1), 10-18. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860917302480>
- Radhi, B., Mohamed, R., Gheethi, a., & Abdul, H. (2021). Advanced technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A systematic review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42(6), 880-899. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01932691.2020.1721007>
- Rivera Cardenas, D. Y. (2020). *Efecto De La Cáscara De Solanum Tuberosum y Sulfato De Aluminio, En La Disminución De La Turbidez En El Tratamiento De Aguas Residuales* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/684>
- Rodríguez, D., & Gallego, D. (2019). Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XXI(1), 6-17. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/776/77660294002/77660294002.pdf>
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

- Rozo, A. P. M., & Cristancho, N. A. (2017). *Evaluación de almidón de manihot esculenta (yuca) y musa aab simmonds. (plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente – PAO* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12023>
- Samotyja, U. (2019). La Cáscara de Papa como Recurso Sustentable de Antioxidantes Naturales para la Industria Alimentaria. 62(1), 435–451. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-019-9419-2>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2015). *Reglamento sanitario del faenado de animales de abasto*. Lima: SENASA. Retrieved from <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/10/Reglamento-Sanitario-del-Faenado.pdf>
- Ttito Surco, R. M. (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, 2018*. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1714>
- Tresierra, Alvaro (2018). *Metodología de la investigación científica*. Biociencias. Universidad nacional de Trujillo.
- Valdivieso, F., & Mollinedo, P. (2021). Formación de almidón retrogradado relacionado a niveles de amilosa en el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño. *Revista Con.Ciencia*, 9(2), 84-102. Retrieved from <https://doi.org/10.53287/mjns8913yn27w>
- Valeriano, J., & Matos, R. (2019). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita. *Información Tecnológica*, 30(5), 299-308. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v30n5/0718-0764-infotec-30-05-299.pdf>

- Villabona, A., Tejada, C., Millan, M., Granados, C., & Ortega, R. (2021). Reduction of Turbidity in Waters Using Cassava Starch as a Natural Coagulant. *Universidad de Cartagena*, 19(1), 1-10. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7999810>
- Wu, A., Ruan, Z., Burguer, R., Yin, S., Wang, J., & Wang, Y. (2020). Optimización de parámetros de floculación y sedimentación de lodos de relaves mediante metodología de superficie de respuesta. *Ingeniería de Minerales*, 156(1). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687520303083?via%3Dihub>
- Yenque Dedios, J., Santos De La Cruz, E., Salas Bacalla, J., Feliciano Muñoz, O., & Lavado Soto, A. (2014). Caracterización y determinación de ecotipos de oca(oxalis tuberosa), para el procesamiento de harinas en la Quebrada de Ancash, distrito y provincia de Yungay, Región Ancash. *Industrial Data*, 10(1), 007. <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.5925>
- Yusoff, M. S., Aziz, H. A., Zamri, M. F. M. A., Suja', F., Abdullah, A. Z., & Basri, N. E. A. (2018). Floc behavior and removal mechanisms of cross-linked Durio zibethinus seed starch as a natural flocculant for landfill leachate coagulation-flocculation treatment. *Waste Management*, 74, 362-372. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.016>
- Zafar, M. S., Tausif, M., Mohsin, M., Ahmad, S. W., & Zia-ul-Haq, M. (2015). Potato Starch as a Coagulant for Dye Removal from Textile Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(8), 244. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2499-y>
- Zaman, B. (2018). Potential of Natural Flocculant in Coagulation-Flocculation Wastewater Treatment Process. *E3S Web of Conferences*, 73(1), 1-5. Retrieved from https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/48/e3sconf_icenis18_05006.pdf
- Zin, N. S. M., Aziz, H. A., & Tajudin, S. A. A. (2016). *Performance of Tapioca Starch In Removing Suspended Solid, Colour And Ammonia From Real Partially Stabilized Leachate By Coagulation-Flocculation Method*. 11(4).