

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Determinación de condiciones óptimas para la precipitación
química con alumbre comercial, de aguas residuales de
lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Gabriela Del Pilar TEJADA DE LA CUBA

Asesor: Mg. David Jhonny CUYUBAMBA ZEVALLOS

Cerro de Pasco - Perú - 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Determinación de condiciones óptimas para la precipitación
química con alumbre comercial, de aguas residuales de
lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Mg. Eleuterio Andrés ZAVALETA SÁNCHEZ
MIEMBRO

Mg. Edson Valery RAMOS PEÑALOZA
MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy, muchos de mis logros se los debo a ellos y en especial este.

A mi hijo Alejandro, que posiblemente en este momento no entienda mis palabras, pero para cuando sea capaz, se dé cuenta de lo mucho que significa para mí.

A mi novio Miguel, por confiar en mí, y apoyarme en todos y cada uno de los pasos que doy.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Daniel Alcides Carrión, por brindarme la oportunidad de desarrollar capacidades y competencias para optar al título profesional en Ingeniería Ambiental.

Me faltarían palabras para agradecer a todas las personas que se involucraron en la realización de mi proyecto de tesis, sin embargo, merecen el reconocimiento mi padre, mi madre, que con su esfuerzo y dedicación hicieron posible la culminación de mi carrera universitaria y me dieron su apoyo incondicional.

También agradezco a mi asesor el Mg. David CUYUBAMBA ZEVALLOS, por demostrar interés y darme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también por guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A los Ingenieros Edson RAMOS PEÑALOZA y Anderson MARCELO MANRIQUE, personas de gran sabiduría que se han esforzado por apoyarme y llegar al punto donde hoy me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación.

RESUMEN

Las lavanderías de ropa se vienen convirtiendo en una necesidad cada vez más creciente y los centros que prestan estos servicios en Oxapampa no se encuentran formalizados haciendo que los vertidos se dispongan directamente al alcantarillado sin un tratamiento adecuado, contribuyendo a la contaminación de los cuerpos receptores como son aguas subterráneas y al río Chorobamba.

El presente trabajo de investigación realizado, busca reducir los contaminantes y principales parámetros fisicoquímicos de una muestra, de tres efluentes de aguas residuales de la lavandería de la zona urbana de Oxapampa, mediante el proceso de floculación química con alumbre comercial.

Los resultados obtenidos en un diseño cuadrado latino de 3x3, están relacionados con la concentración alumbre comercial (250, 500 y 750 ppm), pH (6, 7.5, 9) y las muestras procedentes de 3 lavaderos de ropa. Llegando a la conclusión que el nivel de pH, influye de forma significativo en la reducción de turbidez (tabla N° 25), Teniendo una mayor eficiencia a un pH de 7.5 con un porcentaje de reducción de turbidez de 71.17% (tabla N° 27). Además, indicar que no influye el nivel de pH de forma significativa, en el porcentaje de reducción de fósforo (tabla N° 19).

La concentración de alumbre comercial, si influye de forma significativa en el porcentaje de reducción de turbidez (tabla 25) y en el porcentaje de reducción de fósforo total (Cuadro 19). La concentración optima se obtuvo a 750 ppm de alumbre comercial con porcentaje de reducción de turbidez (PRT) de 86.49 % (tabla N° 28) y con porcentaje de reducción de fósforo total (PRF) de 74.4267 % (tabla N° 21), esto indica que, a mayor concentración, aumenta el PRT y PRT.

Palabras clave: alumbre comercial, porcentaje de reducción de turbidez, porcentaje de reducción de fósforo, lavanderías.

ABSTRACT

Clothes laundries are becoming an increasingly growing need and the centers that provide these services in Oxapampa are not formalized, causing discharges to be disposed of directly into the sewer system without adequate treatment, contributing to the contamination of receiving bodies such as they are groundwater and the Chorobamba River.

The present research work carried out seeks to reduce the pollutants and main physicochemical parameters of a sample of three wastewater effluents from the laundry in the urban area of Oxapampa, through the process of chemical flocculation with commercial alum.

The results obtained in a 3x3 Latin square design are related to the commercial alum concentration (250, 500 and 750 ppm), pH (6, 7.5, 9) and the samples from 3 laundry facilities. Reaching the conclusion that the pH level significantly influences the reduction of turbidity (table N ° 25), having a higher efficiency at a pH of 7.5 with a percentage of reduction of turbidity of 71.17% (table N ° 27). In addition, indicate that the pH level does not significantly influence the percentage of phosphorus reduction (table N ° 19).

The concentration of commercial alum does significantly influence the percentage of reduction in turbidity (table 25) and the percentage of total phosphorus reduction (Table 19). The optimal concentration was obtained at 750 ppm of commercial alum with a turbidity reduction percentage (PRT) of 86.49% (table No. 28) and a total phosphorus reduction percentage (PRF) of 74.4267% (table No. 21). This indicates that the higher the concentration, the PRT and PRT increase.

Keywords: commercial alum, percentage of turbidity reduction, percentage of phosphorus reduction, laundries.

INTRODUCCIÓN

Los grandes volúmenes de gasto de agua en las lavanderías de ropa y la alta concentración de nutrientes como el fosfato, la baja degradabilidad de los insumos químicos y la toxicidad de los detergentes que se emplean, siempre ha sido la motivo para la búsqueda de nuevas técnicas de tratamiento de las aguas residuales que generan las lavanderías.

Existen métodos como los biológicos que degradan los detergentes, pero por su baja degradabilidad se requieren de grandes espacios, que hace dificultoso que se pueda tratar en las lavanderías.

Los métodos avanzados como la oxidación mediante fotocátalisis son muy eficientes, pero no es posible utilizar debido al alto costo que ello demanda a las pequeñas lavanderías de Oxapampa.

Por ello se buscan una alternativa de bajo costo y rápido tratamiento que pueda ayudar a la precipitación los residuos de detergentes, siendo una alternativa el uso de alumbre comercial.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.	1
1.2. Delimitación de la investigación.	2
1.3. Formulación del problema.	2
1.3.1. Problema principal.	2
1.3.2. Problemas específicos.	2
1.4. Formulación de Objetivos.	3
1.4.1. Objetivo General.	3
1.4.2. Objetivos específicos.	3
1.5. Justificación de la investigación.	3
1.5.1. Justificación Teórica.	3
1.5.2. Justificación Práctica.	4
1.5.3. Justificación Metodológica.	4
1.5.4. Justificación Social.	4
1.6. Limitaciones de la investigación.	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.	5
2.1.1. A nivel internacional.	5
2.1.2. A nivel nacional.	6
2.2. Bases teóricas - científicas.	8
2.2.1. Aguas residuales.	8

2.2.2. Detergentes y su composición.....	14
2.2.3. Coagulación y floculación.	23
2.2.4. Tratamiento de aguas residuales.....	31
2.3. Definición de términos básicos.....	36
2.4. Formulación de Hipótesis.....	39
2.4.1. Hipótesis General.....	40
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	40
2.5. Identificación de Variables.	40
2.5.1. Variables Independientes.....	40
2.5.2. Variables Dependientes.....	40
2.5.3. Variables Intervinientes.	40
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.	41

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	42
3.2. Nivel de investigación.....	42
3.3. Métodos de investigación.....	43
3.4. Diseño de investigación.....	43
3.5. Población y muestra.....	44
3.5.1. Población.....	44
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	46
3.6.1. Instrumentación.....	46
3.6.2. Método de Experimentación.....	48
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	50
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	51
3.9. Tratamiento Estadístico.	51
3.10. Orientación ética filosòfica y epistèmica.....	51

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	52
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	53
4.3. Prueba de Hipótesis.	54

4.3.1. Porcentaje de reducción de fósforo total	54
4.3.2. Porcentaje de reducción de turbidez (PRT).....	62
4.4. Discusión de resultados.....	70

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anexo A

Anexo B

Instrumentos de Recolección de datos.

Anexo C

Panel fotográfico

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	11
Tabla N° 02. Parámetros de vertidos a alcantarillado.....	12
Tabla N° 03. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.	13
Tabla N° 04. Algunos policarboxilatos (X = -COONa)	17
Tabla N° 05. Clasificación de los detergentes	22
Tabla N° 06. Composición de algunos detergentes comerciales en Perú.....	23
Tabla N° 07. Clasificación de los sistemas de depuración de aguas residuales urbanas.	33
Tabla N° 08. Operacionalización de variables.	41
Tabla N° 09. Diseño de cuadrado latino de 3x3.....	43
Tabla N° 10. Lavanderías de ropa identificadas en Oxapampa.....	44
Tabla N° 11. Lavanderías de ropa seleccionadas.....	45
Tabla N° 12: Resultados obtenidos de concentración de fósforo en agua de lavandería.	52
Tabla N° 13. Resultados obtenidos de turbidez (NTU) en agua de lavandería.....	53
Tabla N° 14. Porcentaje de reducción de fósforo (PRF).....	53
Tabla N° 15. Porcentaje de reducción de turbidez (PRT).....	54
Tabla N° 16. Prueba de normalidad de PRF con respecto a lavanderías.....	56
Tabla N° 17. Prueba de normalidad de PRF con respecto a pH.	56

Tabla N° 18. Prueba de normalidad de PRF con respecto a concentración de alumbre.	57
Tabla N° 19. Prueba ANOVA para porcentaje de reducción de fósforo total (PRF) .	57
Tabla N° 20. Prueba Duncan PRF con lavanderías.....	59
Tabla N° 21. Prueba Duncan PRF con concentración de alumbre.	61
Tabla N° 22. Prueba de normalidad de PRT con respecto a lavanderías.....	63
Tabla N° 23. Prueba de normalidad de PRT con respecto a pH.	64
Tabla N° 24. Prueba de normalidad de PRT con respecto a concentración de alumbre.	63
Tabla N° 25. Prueba ANOVA para porcentaje de reducción de turbidez (PRT)	64
Tabla N° 26. Prueba Duncan PRT con lavanderías.....	67
Tabla N° 27. Prueba Duncan PRT con pH.	68
Tabla N° 28. Prueba Duncan PRT con concentración de alumbre.	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 01. Acción secuestrante de dos mejoradores inorgánicos. Tri(poli)Fosfato de sodio (STP) y Silicato de aluminio y sodio SASIL (Zeolita)	16
Figura N° 02. Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante	25
Figura N° 03. Mecanismos de coagulación y floculación.....	26
Figura N° 04. Potencial zeta.....	27
Figura N° 05. Prueba de jarras.	31
Figura N° 06. Trampas de grasa.....	34
Figura N° 07. Desarenadores de flujo horizontal.	34
Figura N° 08. Tratamiento biológico de aguas residuales	35
Figura N° 09. Desinfección con luz UV.....	36
Figura N° 10. Lavanderías de ropa de la ciudad de Oxapampa.....	45
Figura N° 11. Recolección de muestras.	46
Figura N° 12. Equipo de prueba de jarras.....	47
Figura N° 13. Medidor multiparamétrico de agua.	47
Figura N° 14. Equipo digital para medir turbidez del agua.	48
Figura N° 15. Equipo digital para medir pH del agua.	48
Figura N° 16. Preparación de muestras para prueba de jarras.	49
Figura N° 17. Zona de rechazo y aceptación.....	56

Figura Nº 18. Variabilidad de PRF, según procedencia de lavandería.	59
Figura Nº 19. Variabilidad de PRF, según pH.	61
Figura Nº 20. Variabilidad de PRF, según concentración de alumbre.....	61
Figura Nº 21. Variabilidad de PRT, según procedencia de lavandería.	66
Figura Nº 22. Variabilidad de PRT, según pH.	68
Figura Nº 23. Variabilidad de PRT, según concentración de alumbre.....	69

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.

En el mundo el 80 % de las aguas residuales se vierten a los ríos, lagos, mares y otros cuerpos de agua, sin ningún tratamiento adecuado, el cuál puede generar desaparición de especies y enfermedades que perjudicaría a la población humana, que hace uso de las aguas superficiales (Actividades recreacionales, riego de cultivo, bebida de animales, consumo directo, entre otros).

En el Perú las empresas productivas y de servicio desechan sus efluentes no domésticos tratados o no tratados por el alcantarillado, éste llega a un cuerpo receptor que puede ser un río, lago u océano; dentro de la población existe actividades de servicio, que ante una creciente población y falta de tiempo, se requiere el servicio de lavanderías de ropa, el cual es común en toda población urbana, y que ellos no cuentan con ninguna orientación de tratamiento de sus aguas, el cual es vertido de manera directa al alcantarillado sin cumplir con los VMA (D.S 010-2019-VIVIENDA).

La ciudad de Oxapampa no es ajena a ello y ante una demanda creciente de servicio de lavado de ropa, va aumentando las lavanderías que contienen altas

concentraciones de sólidos suspendidos y detergentes, los mismos que son vertidos directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento.

Por lo tanto, surge la necesidad de establecer las condiciones favorables para el tratamiento de aguas residuales de lavandería industrial mediante la remoción de sólidos en suspensión y detergentes a partir de aguas residuales de lavanderías de la ciudad de Oxapampa, mediante el proceso de coagulación-floculación con alumbre comercial ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$).

1.2. Delimitación de la investigación.

En la zona urbana de Oxapampa se logró identificar quince lavanderías que la mayoría son actividades realizadas en las viviendas de quienes brindan el servicio, de las cuales todas desechan sus aguas residuales directamente al alcantarillado sin ningún tratamiento previo, para el presente trabajo se seleccionó de una manera aleatoria una muestra de 3 de ellas para la elaboración del presente trabajo.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema principal.

¿Cuáles son las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa?

1.3.2. Problemas específicos.

- ¿Qué nivel de pH, turbiedad y fosfatos contiene las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa?
- ¿Cuál es el pH adecuado y la concentración óptima de alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa en la ciudad de Oxapampa?

- ¿Las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplen con los VMA?

1.4. Formulación de Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Determinar las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Realizar mediciones de pH, turbiedad y fosfatos de las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa.
- Determinar pH adecuado y la concentración óptima de alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa en la ciudad de Oxapampa.
- Verificar que las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplan con los VMA (D.S 010-2019-VIVIENDA).

1.5. Justificación de la investigación.

1.5.1. Justificación Teórica.

En el presente trabajo se determinó las condiciones óptimas de precipitación química (alumbre comercial) de las aguas residuales de lavandería, y elaborar procedimientos para el tratamiento de sus aguas residuales in situ, antes de ser vertidos al alcantarillado.

El trabajo genera una base de conocimientos que permita concientizar a los dueños de las lavanderías y posteriormente puedan tratar sus aguas

contribuyendo al cuidado del agua, y del mismo modo mejorar su calidad de vida y cuidado del ambiente.

1.5.2. Justificación Práctica.

Con esta investigación se evaluó la metodología para realizar una precipitación química adecuada de las aguas residuales de lavanderías de ropa tomando como referencia el (D.S 010-2019-VIVIENDA), para un vertimiento adecuado y responsable.

1.5.3. Justificación Metodológica.

En el trabajo pretende encaminar a la obtención de una metodología para tratar las aguas residuales de lavanderías de la ciudad de Oxapampa y otros lugares, para luego ser vertidas al alcantarillado cumpliendo con los VMA.

1.5.4. Justificación Social.

Con este trabajo se da a conocer la importancia de tomar medidas para conservar los ambientes acuático y de mantener un ambiente sano así como también tener aguas superficiales que conserven las especies acuáticas y de todos aquellos que interactuen con ella.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Las limitaciones que se dio en el presente trabajo son:

- Desconocimiento de la normativa de vertimiento de las aguas residuales.
- Falta de trabajos de investigación similares a fin de tener datos históricos.
- Falta de equipamiento el cual eleva el costo para la elaboración del presente trabajo.
- Restricciones y acceso a las lavanderías principalmente debido a la pandemia del COVID-19.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. A nivel internacional.

Maldonado Páez, (2008), en Quito Ecuador, realizó la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato, el cual disolvió en agua en sistemas agitados y columnas empacadas. En donde determinó que el carbón activado de cuesco de palmiste logró mayor adsorción de Lauril sulfato de sodio alcanzando una remoción del 92,5% en sistema de lecho agitado. Además, indica que el efluente de la columna empacada con este tipo de carbón activado alcanza concentración máxima permisible de 0,5 mg/L de Lauril sulfato de sodio en un tiempo de operación de 26 días, trabajando con un caudal de 6 cm³/min.

Castañeda Castro, (2004), en Guatemala, determinó la reducción de hierro manganeso y detergente en el agua, con arena verde de manganeso y carbón activado. En lográndose la remoción del 85% del contenido de detergente, en el agua sometida al tratamiento en columna de carbón activado. Además, concluye que el efluente de la columna con carbón activado alcanza concentración de 0,535 mg/L de detergente, realizando un monitoreo durante 8 semanas, trabajando con un flujo de 7,6 cm³/min.

Oyarzo Vargas,(2007), en Punta Arenas en Chile, realizó su trabajo de tesis que consistió en la generación de curvas de precipitación para el fósforo, mediante la adición de sulfato de aluminio en aguas residuales con distintos grados de tratamiento.

En dicha investigación obtuvieron altos rendimientos en la eliminación de materia orgánica y sólidos suspendidos. En cuanto a la eliminación de fósforo con adiciones superiores a 20 mg/L para el efluente de un sistema biológico. Debido a los altos rendimientos obtenidos, resulta interesante la evaluación de la precipitación con sulfato de aluminio como sistema único tratamiento en los casos que el sistema tradicional pueda ser poco recomendable.

2.1.2. A nivel nacional

Chalco Castillo, (2017), demostró que la Tecnología de Electro floculación en el tratamiento de aguas residuales de una lavandería industrial en la ciudad de Lima a una intensidad de corriente de 10 A, la distancia de electrodos de 15 cm. y un tiempo de residencia de 10 min, el tamaño del floc se vuelve constante (60um).

Según el proceso de electro floculación se obtuvo una eficiencia del 100 % al comparar los análisis de sus características fisicoquímicas después del proceso lo que establecen los valores máximos admisibles para descargar efluentes no domésticos.

Castillo Tolentino et al., (2019), buscó reducir los contaminantes y parámetros fisicoquímicos principales de efluentes de aguas residuales de la lavandería del Instituto Nacional de Salud del Niño de San Borja – Lima, mediante la Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y Luz ultravioleta (UV). Los resultados obtenidos están relacionados con la concentración del TiO₂, Tiempo de recirculación, pH, DQO, DBO y aditivos de oxidación. Se obtuvo una máxima eficiencia de mejoramiento en la calidad de las aguas residuales respecto al DQO

del 34.21% sin la presencia de H_2O_2 y una máxima del 35.27% con presencia de H_2O_2 .

Chambi Hanco, (2018), en su trabajo utilizó aguas provenientes de lavanderías que son vertidas sin ningún tratamiento al alcantarillado, que contiene detergente en una concentración de 2,84 mg/L. Primero realizó la remoción de sólidos en suspensión por proceso de coagulación-floculación utilizando floculantes como el policloruro de aluminio y sulfato de aluminio. El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos con policloruro de aluminio alcanzó al 97,99% y la remoción con sulfato de aluminio fue de 94,92%. La adsorción con carbón activado de cuesco de palma en polvo logró remover detergente al 93,43% a pH 6 y tiempo de 60 min, mientras con carbón activado de cáscara de coco en polvo se logró remover al 95,31% de detergente LAS a pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min. El contenido final de detergente en agua residual tratada con carbón activado cuesco de palma en polvo fue de 0,15 mg/L y con carbón activado cáscara de coco fue reducido a 0,12 mg/L.

Visitación Figueroa, (2004), utiliza un sistema para lograr la degradación de LAS (lineal alquilbencensulfonato), fotocatalizada con $H_2O_2/TiO_2/UV$, en un reactor de lecho fluidizado. La caracterización del catalizador se realizó mediante difracción de rayos X que confirma la presencia del TiO_2 variedad anatasa en el sistema.

Los parámetros utilizados para comprobar el avance de la degradación fueron la disminución del color formado por el par iónico azul de metileno – LAS, el valor del DQO, la concentración del CO_2 disuelto, la concentración de iones sulfatos y la disminución de la toxicidad aguda del efluente mediante bioensayos.

Los resultados obtenidos muestran que la degradación de la molécula de LAS en las muestras preparadas y en las muestras reales, es realizada en forma satisfactoria, observándose una disminución en la toxicidad de las muestras.

2.2. Bases teóricas - científicas.

2.2.1. Aguas residuales.

2.2.1.1. Definición.

(MINAM, 2012), Indica “Aguas cuyas características han sido modificadas por actividades antropogénicas, requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas”.

También, indica (MINAM, 2012) “Por su naturaleza, las aguas residuales pueden ser domésticas o industriales. Las aguas residuales municipales comprenden tanto a las aguas residuales domésticas como también la mezcla con aguas residuales industriales en tanto estas últimas cumplan con los requisitos para ser admitidas en la red de alcantarillado.

2.2.1.2. Clasificación de las aguas residuales

Según Viscarra Ilenera,(2018) clasifica a las aguas residuales en urbanas, industriales y agrícolas.

Aguas residuales urbanas. Viscarra Ilenera,(2018) manifiesta “que las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento y las distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible”.

Aun derive sólo de efluentes domésticos, la composición varía por algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etc.

La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo, el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan

variaciones estacionales. Tres grupos de caracteres se pueden tener en cuenta para los diferentes componentes del agua, que son los físicos , químicos y biológicos.(Viscarra llenera, 2018).

Aguas residuales industriales. Los efluentes industriales deben su composición a los procesos de los que proceden y debido a ellos, pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción. Los componentes de dichos vertidos se pueden clasificar, según los métodos de tratamiento. (Viscarra llenera, 2018).

Aguas residuales agrícolas. Por lo general, constituyen una mezcla de aguas domésticas de la población, junto con agua de riego agrícola. Para mejorar la productividad agrícola ha llevado al empleo de una gran variedad de sustancias (pesticidas entre otros), que, por el abuso de ello, los residuos pueden producir daños de forma indirecta. Así, los fertilizantes tienen sus desventajas: nitratos, fosfatos y compuestos de amonio pueden contaminar ríos, lagos y mares, alterando el equilibrio de las especies acuáticas (Viscarra llenera, 2018).

Los agroquímicos, pueden producir un efecto tóxico sobre las especies, incluido el hombre. En el agua, los pesticidas pueden ser descompuestos por procesos físicos, químicos y microbiológicos. Pero, para asegurar su biodegradación, antes de emitirlos al medio ambiente, se debe conocer su potencial de bioconcentración y biodegradación microbiana (Viscarra llenera, 2018)

2.2.1.3. Características típicas de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. La Tabla N° 01 presenta las principales propiedades físicas de agua residual, así como sus principales componentes químicos y biológicos, y su procedencia.(Metcalf, 1995).

2.2.1.4. Contaminantes de importancia de las aguas residuales.

En la Tabla N° 02, de acuerdo al D.S. 010-2019-vivienda se indican los parámetros de interés para el vertido del agua residual al alcantarillado.

Tabla N° 01. Características de las aguas residuales y sus procedencias.

Característica	Procedencia
Propiedades físicas	
Color	Aguas residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales
Constituyentes químicos	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasa.	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domesticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Constituyentes biológicos	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas: Eubacterias Arqueo bacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domesticas

Fuente: Metcalf (1995)

Tabla N° 02. Parámetros de vertidos a alcantarillado.

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxígeno.	mg/l	DBO5	500
Demanda química de oxígeno.	mg/l	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales.	mg/l	SST	500
Aceites y grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: D.S. 010-2019-VIVIENDA.

Según indica Metcalf, (1995), en la tabla N° 03, describen los contaminantes de mayor interés en el tratamiento del agua residual. Las leyes que regulan los tratamientos secundarios están basadas en capacidad de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual.

Las aguas después de lavado presentan una composición característica y según Franco Alvarado, (2007) estas contiene:

- Coliformes.
- Detergentes (Sodio, fósforo, boro, amonio, nitrógeno).
- Espumas.
- Alto pH.
- Alta Salinidad.
- Alta cantidad de sólidos suspendidos (pelusas), y turbiedad.

También, Castillo Tolentino et al., (2019), caracterizó las aguas residuales de lavandería y muestran valores en la demanda química de oxígeno (DQO) de 232 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 745 mg/L, sólidos totales (SST) 512 mg/L, Aceites y Grasas de 323 mg/L, pH 12, Temperatura de 42 °C y tensoactivos de 18.87 mg/L.

Tabla N° 03. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO5 y de la DQO. Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente:(Metcalf, 1995)

2.2.2. Detergentes y su composición.

Según la Real Academia Española (2014), un detergente se define como una “sustancia o producto que limpia químicamente”. Es un producto de consumo masivo que, tiene un alto nivel de penetración y una considerable frecuencia de uso en los hogares de todo el Perú y en las lavanderías de ropa es el principal insumo para el servicio.

Para lograr el efecto limpiador, un detergente tiene que producir numerosos fenómenos, los cuales dependen del tipo de sustrato, del tipo de suciedad y de las condiciones.

Según indica Visitación Figueroa, (2004), los detergentes sintéticos tienen propiedades limpiadoras y no forman fácilmente sales insolubles con metales, tales como el calcio y magnesio. Las características surfactantes de los detergentes se deben principalmente a su estructura anfifílica. Esto significa que tienen una cabeza polar o un grupo iónico, por lo general grupos sulfonatos, con muy buena afinidad por el agua, y tienen otra parte formada por una cadena hidrocarbonada insoluble en agua (no polar).

Los alquilbencensulfonatos lineales (LAS) son los más importantes tensoactivos o surfactantes sintéticos empleados en los detergentes domésticos (Visitación Figueroa, 2004).

LAS es una mezcla de compuestos lineales que tienen cadenas de 10 a 14 átomos de carbono y sus respectivos isómeros. En promedio, una muestra de detergente comercial contiene moléculas de LAS en aproximadamente las siguientes proporciones: C10 3.9%, C11 37.4%, C12 35.7%, C13 23.1% y C14 0.2%.(Visitación Figueroa, 2004).

En las formulaciones de los detergentes se utilizan un gran número de componentes cuyas funciones se complementan uno a otro, a menudo con un efecto de sinergia.

A continuación, describimos los diferentes tipos de componentes que se encuentran en formulaciones detergentes y la función que cumplen.

2.2.2.1. Surfactantes

Los surfactantes aniónicos (sulfonatos, ester-sulfatos, jabones) y no iónicos (alcoholes o fenoles etoxilados) actúan como agentes de mojabilidad del sustrato, rebajan la tensión interfacial, se adsorben y cambian el potencial superficial, emulsionan el sucio líquido, y dispersan las partículas sólidas.(Louis salager, n.d.)

2.2.2.2. Agentes secuestrantes mejoradores (*Builders*)

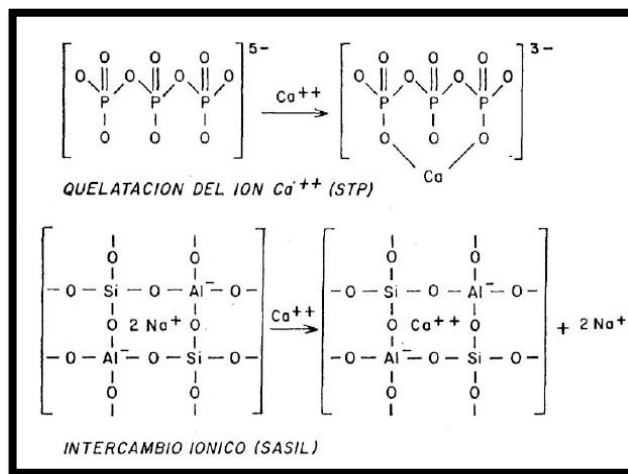
Son agentes que tienden a mejorar las acciones limpiadoras del surfactante mediante varios efectos. Su acción principal es **secuestrar** a los cationes divalentes del agua dura (calcio, magnesio) para evitar la interacción de estos iones con los surfactantes. La eliminación se realiza por la solubilización (quelato), precipitación, o intercambio iónico, además mantiene el pH de la solución detergente a un valor alcalino, neutralizar los ácidos grasos libres y formar jabones in-situ en la interfase.(Louis salager, n.d.)

Existen dos tipos de agentes mejoradores: los orgánicos y los inorgánicos. Los más utilizados son los agentes mejoradores inorgánicos solubles, principalmente fosfatos, y en menor grado silicatos y carbonatos de sodio, o insolubles como las zeolitas (aluminio-silicatos naturales o sintéticos):

- Tri(poli)fosfato de sodio: $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (STP)

- Pirofosfato de sodio: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
- Silicato de sodio: $x \text{Na}_2\text{O} - y \text{SiO}_2$
- Carbonato de sodio: Na_2CO_3
- Aluminosilicato de sodio SASIL;
- Zeolita A $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_3\text{O}_3- 2 \text{SiO}_2-x\text{H}_2\text{O}$

Figura 01. Acción complejante de dos mejoradores inorgánicos.
Tri(poli)Fosfato de sodio (STP) y Silicato de aluminio y sodio SASIL
(Zeolita)



Fuente: (Louis salager, n.d.)

También se han propuesto polielectrolitos para tales efectos; poseen un poder secuestrante netamente mejor que el STP, pero no son fácilmente biodegradables. La Tabla 04 indica algunas de las estructuras más comunes y su origen.

Tabla N° 04. Algunos policarboxilatos (X = -COONa)

Materia prima	Reacción	Policarboxilato
Ácido acrílico	Polimerización	-CH ₂ -CHX-
Ácido maleico	Polimerización	-CHX-CHX-
Almidón	Oxidación	-CHX-CH(CH ₂ OH)-O-CHX-O-
Ácido algínico	Oxidación	CHX-CHX-O-CHX-O-
Epoxi succinato	Polimerización	CHX-CH ₂ -O

Fuente: (Louis salager, n.d.)

2.2.2.3. Agentes dispersantes de jabones de calcio (LSDA)

Louis salager, indica que muchos detergentes líquidos y en polvo para máquina de lavar contienen sales alcalinas de ácidos grasos, es decir jabones cuyo papel es reducir la espuma.

Los agentes dispersantes de jabones de calcio (*Lime soap dispersing agents* o *LSDA*) son surfactantes aniónicos o anfóteros que se asocian con los jabones para formar soluciones que no producen precipitado en agua dura. Entre los agentes dispersantes de jabones de calcio se encuentran los alfa-sulfo-esteres de ácido grasos que son de los productos menos costosos, aunque con eficiencia relativamente moderada. Otros compuestos del mismo tipo son los alquilgliceril ester sulfonatos (AGES): R-CH(SO₃Na)-COO-CH₃ con R = C16-18.(Louis salager, n.d.)

La gran mayoría de los agentes dispersantes de jabones de calcio con buena eficiencia son surfactantes anfóteros con un grupo amina o amida grasa.

2.2.2.4. Agentes anti(re)deposición.

Los agentes anti (re)deposición más utilizados son la carboximetil celulosa (CMC), y otros derivados no iónicos de la celulosa.

Se usan también comercialmente la polivinil pirolidona, los polivinil alcoholes, y otros copolímeros entre moléculas de este tipo. (Louis salager, n.d.)

2.2.2.5. Agentes espumantes y no espumantes.

La producción de espuma no tiene nada que ver con el poder detergente. Sin embargo, el consumidor tiene siempre la impresión de que si no hay espuma no hay buena detergencia. En consecuencia, muchos productos para el lavado a mano producen una abundante espuma.

Los agentes espumantes más utilizados son el lauril sulfato (aniónico), y los surfactantes no iónicos nitrogenados como óxido de aminas, alcohol amidas, aminas y amidas etoxiladas: También se usan compuestos complejos como alcanolamidas o monoglicéridos sulfatados. (Louis salager, n.d.)

2.2.2.6. Agentes suavizadores.

Después de un lavado con detergentes sintéticos del tipo alquilbenceno sulfonatos formulados con secuestradores, el textil seco presenta una superficie cuyo contacto no es siempre agradable sobre la piel, especialmente si se trata de fibras naturales.

El residuo de surfactante sintético adsorbido tiende a aumentar la carga eléctrica estática de las fibras y la ausencia de sustancias con acción lubricante vuelve el textil relativamente rígido ya que las fibras no pueden deslizarse una sobre otra. El papel de los agentes suavizadores es contrarrestar estos fenómenos, los cuales se aplican también a los acondicionadores para cabello.

De una parte, se debe reducir la carga estática remanente y de otra parte se debe depositar una sustancia con acción lubricante.

Muchos surfactantes catiónicos producen estos efectos, pero son incompatibles con los surfactantes aniónicos utilizados en las formulaciones. Por lo tanto, deben usarse en un baño separado, o en máquinas de lavar, durante el ciclo de enjuague. Los mejores suavizadores de este tipo son los alquil amonios cuaternarios y las sales de imidazolinio.

Sin embargo, la introducción de un agente suavizador en el ciclo de enjuague complica la operación de lavado, y la tendencia actual es introducir el suavizador en la formulación detergente. Se debe por lo tanto utilizar un surfactante con cierto carácter catiónico para que se adsorba en las fibras, pero compatible con los surfactantes aniónicos del tipo ABS o LAS. Se usan para este propósito varios surfactantes no iónicos que poseen un grupo nitrogenado, tales como las aminas etoxiladas, imidazolas etoxiladas, óxidos de aminas cuaternarias con uno o dos grupos hidroxi-etilos, y por otra parte algunos surfactantes anfóteros, particularmente los que contienen un grupo amido-amina (y que son también dispersantes de jabones de calcio). (Louis salager, n.d.)

2.2.2.7. Agentes blanqueadores.

Hay actualmente en el mercado dos tipos de agentes blanqueadores para textiles, ambos con propiedades oxidantes: los hipohaluros, esencialmente el hipoclorito de sodio, y las sales inorgánicas peroxigenadas, principalmente el perborato de sodio.

Las propiedades generales de los blanqueadores son las siguientes:

- 1) Un aumento de temperatura aumenta la velocidad de descomposición;
- 2) Ciertos metales pesados a nivel de traza catalizan la descomposición;
- 3) La actividad blanqueadora aumenta con la concentración, pero no

linealmente; 4) El pH tiene un efecto importante; un pH ácido acelera la descomposición del hipoclorito, mientras que se requiere un pH alcalino para acelerar la descomposición de las sales inorgánicas peroxigenadas.(Louis salager, n.d.).

2.2.2.8. Enzimas.

Los surfactantes con actividad biológica contienen **enzimas** tales como esperasa, savinasa o alcalasa. Estas enzimas son **proteasas** capaces de degradar rápidamente manchas de proteínas en un medio de pH alcalino y a temperatura de hasta 60°C. Su actividad permite la utilización de un medio detergente en frío, particularmente en detergentes líquido, para remojar a temperatura ambiente.(Louis salager, n.d.)

2.2.2.9. Perfumes.

En detergentes de uso doméstico, particularmente para lavaplatos y desinfectantes, se incorporan perfumes, la mayoría de los cuales son terpenos, es decir sustancias cuyo esqueleto está compuesto de con 2, 3 ó más unidades del isopreno (2 metil-butadieno). (Louis salager, n.d.)

2.2.2.10. Otros componentes.

Las formulaciones detergentes pueden contener también otras sustancias, dependiendo del uso final del producto.

Los **hidrotropos** son sustancias muy hidrofílicas destinadas a mejorar la solubilización del surfactante en formulaciones líquidas. Los más utilizados son los sulfonatos de tolueno, etil-benceno y xileno.

Ciertos **agentes anticorrosión** se añaden a las formulaciones detergentes para proteger las partes metálicas, en general se usa el

silicato de sodio que posee además un papel secundario como mejorador y ciertas formulas **desinfectantes** contienen **bactericidas**.(Louis salager, n.d.)

2.2.2.11. Clasificación.

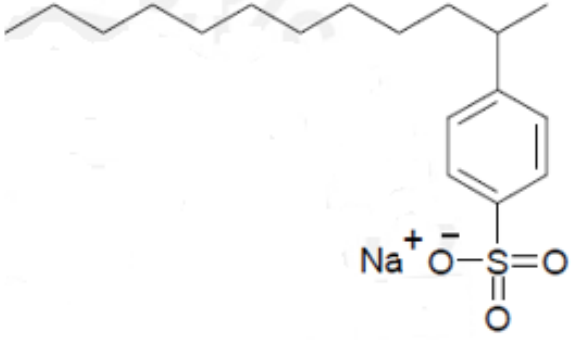
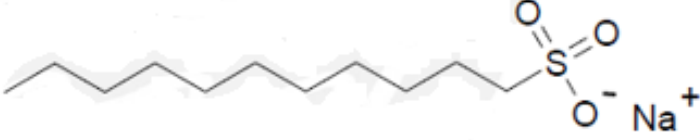
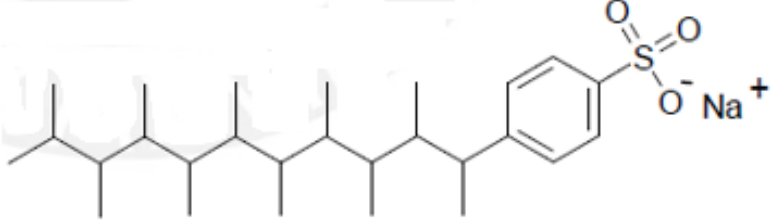
Según Visitación Figueroa (2004), los detergentes utilizados en los diferentes procedimientos de lavado, de acuerdo a su estructura y capacidad de biodegradación se clasifican en:

Los alquilbencensulfonatos lineales de sodio fueron introducidos al mercado a partir del año 1965 como alternativa biodegradable del ABS, debido que al presentar una cadena carbonada con carbonos secundarios, son más susceptibles a biodegradarse (Visitación Figueroa, 2004).

Los detergentes con base laurilsulfato de sodio son biodegradables, pero de poco uso en los detergentes domésticos (Visitación Figueroa, 2004).

Los ABS de cadena ramificada de alquilbencensulfonato de sodio no pueden ser biodegradados por presentar átomos de carbono terciarios en su estructura. Se prohibió a partir de la década del 60, al encontrar su presencia en los canales de agua donde terminaban los efluentes domésticos (Visitación Figueroa, 2004).

Tabla N° 05. Clasificación de los detergentes

Nombre	Estructura
LAS	
Lauril sulfato de sodio	
ABS	

Fuente: Visitación Figueroa (2004)

2.2.2.12. Composición de los detergentes en el Perú

Los componentes en la mezcla que contiene un detergente es el agente tensoactivo o también llamado surfactante, y algunos aditivos. Entre los agentes tensoactivos utilizados, el C12 LAS es el más común para la remoción de la grasa proveniente de la suciedad de la ropa. Los aditivos añadidos al detergente favorecen la remoción de las grasas y suciedad, así como también mejoran la calidad del blanco obtenido después del lavado. En la tabla N° 6 mencionamos la composición de algunos detergentes:

Tabla N° 06. Composición de algunos detergentes comerciales en Perú.

	Surfactante	Cosurfactante	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	Blanqueador
Sapolio	X		X	X	X
Ariel	X	X			X
Ace	X	X			X
Opal	X	X	X	X	X
Magia blanca	X	X			X

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Coagulación y floculación.

La coagulación es un proceso que implica muchas reacciones de transferencia de masa. El proceso consta de varias etapas: la desestabilización de partículas, la interacción contaminante-coagulante. Las variables claves que se debe tener en cuenta son la dosis de los coagulantes, la alcalinidad y el pH (Kirchmer & Pérez Carrión, 1981)

Es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para lograr la:

- Eliminación de turbiedad orgánica o inorgánica.
- Eliminación de color verdadero y aparente.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.
- Destrucción de algas y plancton en general.

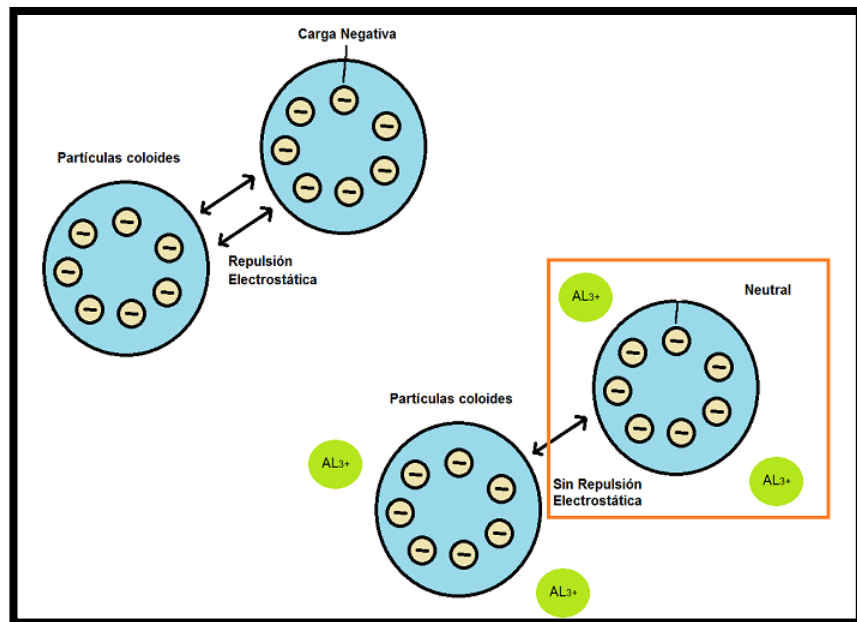
2.2.3.1. Teoría de la coagulación

Los coloides en su mayoría están cargados negativamente, por lo que son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van Der Waals, por lo que no se aglomeran y por lo tanto, no precipitan.

Mediante el proceso de coagulación se logra neutralizar la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas (ver figura 02), esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.(Lorenzo Acosta, 2006)

La coagulación y la floculación se dan en sucesivas etapas, de forma que, una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los micro flóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los micro flóculos, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.(Lorenzo Acosta, 2006)

Figura N° 02. Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante



Fuente: <https://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/>

2.2.3.2. Etapas del proceso de coagulación.

Según Lorenzo Acosta, (2006), indica que las fases de coagulación son cinco:

1ra Fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.

2da Fase: Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.

3ra Fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.

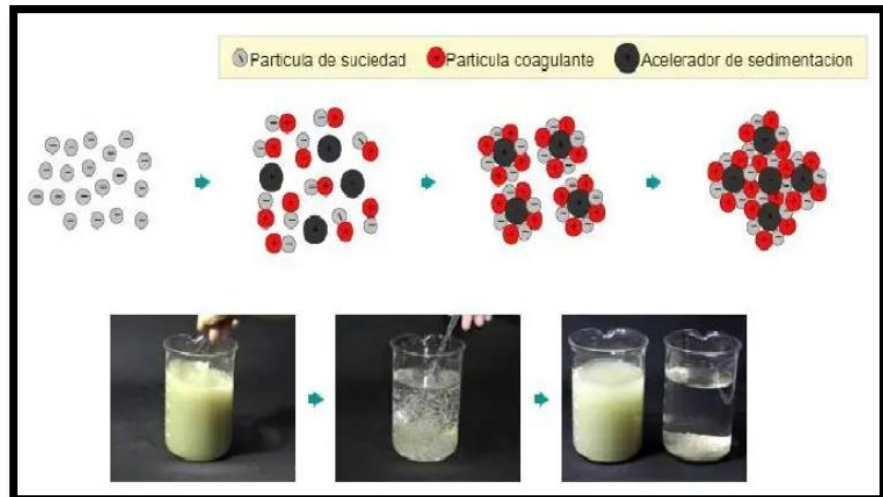
4ta Fase: Adsorción mutua entre los coloides.

5ta Fase: Acción de barrido.

Cuando agregamos un coagulante al agua, éste se hidroliza y puede producir la desestabilización de las partículas por simple adsorción

específica de los productos de hidrólisis, generalmente con carga positiva, en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie.

Figura N° 03. Mecanismos de coagulación y floculación.



Fuente: <https://nihonkasetu.com/es/el-mecanismo-de-coagulacion-y-floculacion/>

La teoría química y la de la doble capa son las más aceptadas universalmente y explican la estabilidad de los coloides. (Lorenzo Acosta, 2006)

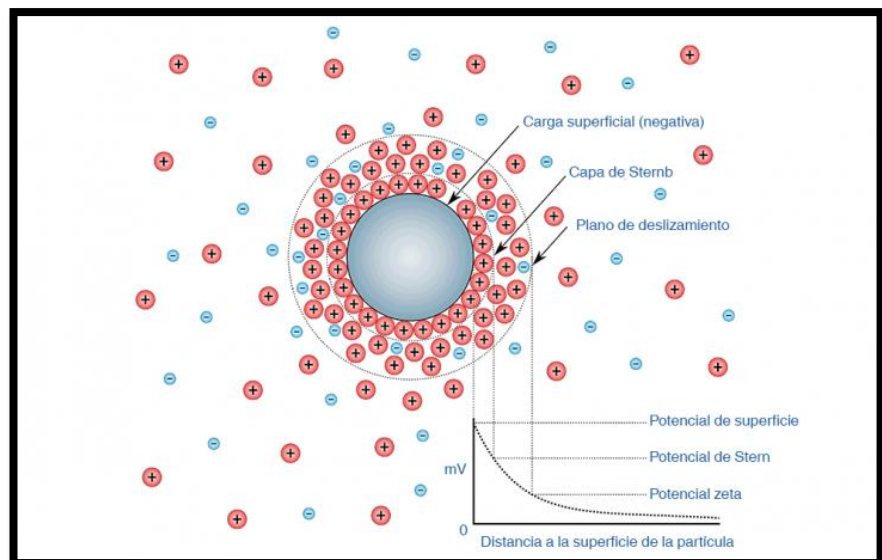
2.2.3.3. Potencial Z

Según Lorenzo Acosta, (2006), indica que es el potencial existente en el plano de deslizamiento entre la superficie cargada y la disolución de electrolito, o más concretamente, es la diferencia de potencial que existe entre la superficie de separación de las partes fija y móvil y el seno del líquido. Cuando se aumenta la concentración de electrolito, disminuye el potencial Z, ya que la mayor parte de la caída de potencial ocurre en la parte inmóvil de la doble capa. Cuando el potencial

Z queda reducido a unos 10-20 mV, es cuando los choques entre las partículas originan su unión, formando agregados mayores. Estos agregados se forman al vencer la tensión superficial la repulsión electrostática, que ya es muy pequeña.

Sabemos que la electroforesis es el movimiento de las partículas cargadas en el seno de un líquido cuando se aplica un gradiente de potencial. Si la partícula colocada en un campo eléctrico no experimenta movimiento hacia el cátodo o ánodo, es porque el potencial Z vale cero, a este punto se le conoce con el nombre de "punto isoeléctrico" y es aquí, en este punto, donde se produce la mejor floculación, al evitarse el equilibrio de fuerzas que impiden que estas partículas coloidales continúen en suspensión.

Figura N° 04. Potencial zeta.



Fuente: <https://www.acniti.com/es/tags/potencial-zeta/>

El potencial Z de los coloides depende también de un factor muy importante, como es el pH del agua. El pH óptimo de coagulación será el existente cuando se alcanza el punto isoeléctrico. (Lorenzo Acosta, 2006)

2.2.3.4. Teoría de la floculación

Lorenzo Acosta, (2006), indica que la formación de los flóculos es la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Es causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van Der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica.

La floculación puede ser orto cinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o peri cinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano.(Lorenzo Acosta, 2006).

El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo.(Lorenzo Acosta, 2006)

2.2.3.5. Floculantes más usados. Mecanismo de acción.

Lorenzo Acosta, (2006), indica que dosis fuertes de coagulantes producen un exceso de fangos que generalmente crean problemas. Por

otro lado, no se consigue siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación. Por estas razones, se ha recomendado el uso de floculantes y/o ayudantes de la floculación. Para procesos de clarificación se han estado usando los siguientes:

- **Sílice activada:** Fue el primer floculante empleado y sigue siendo el que mejores resultados puede dar cuando se emplean sales de aluminio.
- **Arcillas:** Bentonitas, caolinitas son añadidas como lechadas para aumentar frecuencia de colisiones y aumentar el peso en el flóculo.
- **Otros floculantes minerales:** carbón activado en polvo, arena fina (diatomeas), blanco de mendón (CaCO_3 precipitado), etc.
- Además Lorenzo Acosta, (2006), indica que en estudios recientes han demostrado la efectividad de floculantes como la zeolita natural, bentonita natural, bentonita sódica, dolomita y el vidrio volcánico que mezclados con el sulfato de aluminio en proporción 1:1, que son capaces de remover el 93-97 % de la turbiedad inicial, así como, el 36-88 % del color aparente, el 50-72 % de la materia orgánica, el 88-94 % del manganeso inicial del agua cruda, produciendo un gran ahorro del sulfato de aluminio.
- **Polímeros orgánicos naturales:** Son principalmente almidones (polisacáridos) extraídos de granos semillas y corteza de origen vegetal, así como varios tipos de suelos. Generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros sintéticos.(Lorenzo Acosta, 2006)
- **Polímeros orgánicos sintéticos:** Son producidos por la transformación química de los derivados del petróleo y del carbón y

aunque no todos se encuentran en forma de polvo seco están generalmente constituidos por poliacriinas (no iónicos) o poliacriida hidrolizado (aniónicos) con alto peso molecular, que van a favorecer la aglomeración de los flóculos a través de puentes. (Lorenzo Acosta, 2006)

Según el carácter iónico de su grupo activo, los polímeros sintéticos, llamados "polielectrolitos" comprenden:

- **Polímeros no iónicos:** Las poliacrilamidas ($2-4 \times 10^6$ g/mol) son usadas en clarificación y deshidratación de lodos, incrementan la resistencia del flóculo y frecuentemente se utilizan también como ayudantes de filtración en línea. Las poliaminas de cadenas más cortas (menor de 1×10^6 g/mol), son usadas sólo en clarificación como coagulantes primarios y como ayudante de coagulación la de alto peso molecular. (Lorenzo Acosta, 2006)

- **Polímeros aniónicos:** Son polielectrolitos cargados negativamente y caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción y grupos ionizados negativamente (carboxílicos o sulfúricos), cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre éstos podemos mencionar las poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas con soda cáustica. (Lorenzo Acosta, 2006)

- **Polímeros catiónicos:** Son polielectrolitos cargados positivamente que poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos, con peso molecular entre 10^4-10^6 g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos,

resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de PH. (Lorenzo Acosta, 2006)

2.2.3.6. Prueba de jarras

La prueba de jarra es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

Figura N° 05. Prueba de jarras.



Fuente: <https://sistemajpii.blogspot.com/2016/10/prueba-de-jarras.html>.

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre

éstos tenemos:

- pH.
- Temperatura.
- Concentración de coagulante.
- Orden de aplicación de las sustancias químicas.
- Nivel de agitación.

Tiempo óptimo de sedimentación

2.2.4. Tratamiento de aguas residuales.

Según Oyarzo Vargas, (2007) indica el tratamiento de aguas residuales urbanas incorpora procesos físicos, químicos y biológicos los cuales tratan y remueven contaminantes producidos por la actividad diaria del hombre en el uso cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua residual limpia con el propósito de ser reutilizada o de ser descargada a cuerpos de aguas sin afectar el medioambiente. Como ya se dijo, las aguas residuales urbanas son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual se generan o también, recogidas y llevadas mediante una red de alcantarillado hasta una planta de tratamiento de agua. En la actualidad la clasificación que se puede dar a los procesos de depuración de aguas residuales urbanas es:

Tabla Nº 07. Clasificación de los sistemas de depuración de aguas residuales urbanas.

Nivel de Tratamiento	Descripción del proceso
Pre Tratamiento	Remoción de materia flotante de gran tamaño.
Primario	Remoción de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica.
Primario Avanzado	Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica generalmente adicionando químicos o por filtración.
Secundario	Remoción de materia orgánica biodegradable y de sólidos suspendidos. Proceso de desinfección son típicamente incluidos en esta definición.
Secundario con remoción de Nutrientes	Remoción de materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno y fósforo).
Terciario	Remoción de sólidos suspendidos residuales (después del tratamiento secundario) usando filtración granular media y de micro mallas. La desinfección es un proceso típico que forma parte del tratamiento terciario. Remoción de nutrientes se llega a incluir en esta definición.
Avanzado	Remoción de material suspendido y disuelto que permanece después de un tratamiento normal biológico, cuando se requiere para diversas aplicaciones de reutilización de agua.

Fuente: (Oyarzo Vargas, 2007)

Sin embargo, sabemos que los tratamientos típicamente conocidos son:

- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

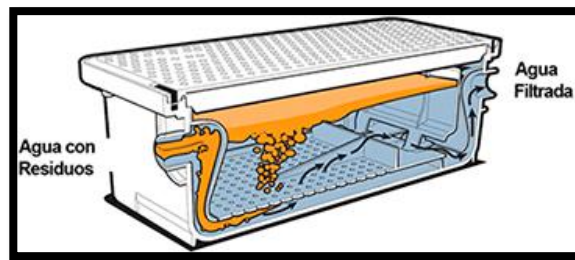
2.2.4.1. Tratamiento primario y primario avanzado

El tratamiento primario, principalmente esta avocado en la reducción de aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este tipo de tratamiento se realiza de forma mecánica (Oyarzo Vargas, 2007). Algunos

de los principales componentes del tratamiento primario son las siguientes:

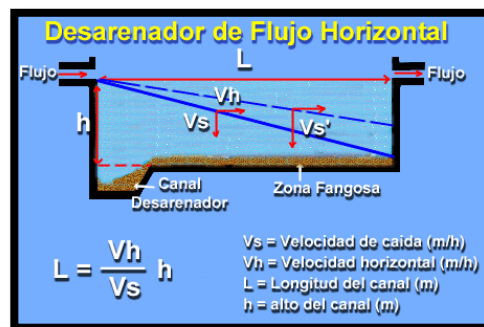
- Trampas de grasas.
- Desarenadores.
- Sedimentadores.

Figura N° 06. Trampas de grasas.



Fuente: <https://quima.com/blogs/blog/trampas-de-grasa>

Figura N° 07. Desarenadores de flujo horizontal.



Fuente: https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/curso/uni_05/u5c1s5.htm

2.2.4.2. Tratamiento secundario

Proceso donde se degrada el contenido orgánico de las aguas residuales que proviene de los desechos humanos, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales trata usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biológico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir. En todos procesos, las bacterias y los

protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas llamadas flóculos. Los sistemas de tratamiento secundario son clasificados como de película fija o de crecimiento suspendido (Oyarzo Vargas, 2007).

Figura N° 08. Tratamiento biológico de aguas residuales.



Fuente:<https://www.ceupe.com/blog/el-tratamiento-biologico-del-agua-residual.html>

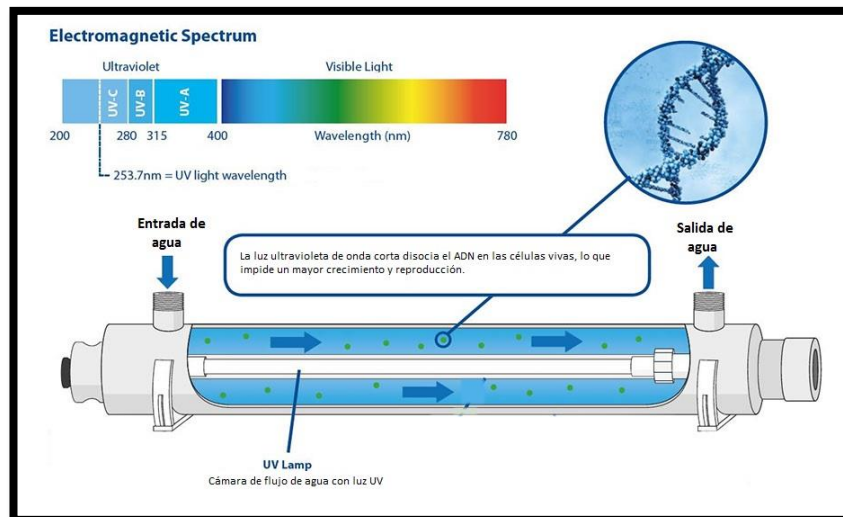
En los sistemas fijos de película (como los filtros de roca) la biomasa se desarrolla en un medio sólido y el agua residual pasa a través de ello. En el sistema de crecimiento suspendido (como lodos activados) la biomasa está mezclada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas fijos de película requieren espacios más pequeños que para un sistema suspendido equivalente del crecimiento, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido son más capaces de recibir gran carga orgánica y a su vez generan cantidades más altas de retiro para de la DBO y los sólidos suspendidos que sistemas fijados de película (Oyarzo Vargas, 2007).

2.2.4.3. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento (Oyarzo Vargas, 2007). Algunas de las alternativas más importantes en el tratamiento terciario son:

- Filtración.
- Remoción de nutrientes.
- Desinfección entre otros.

Figura N° 09. Desinfección con luz UV



Fuente: <https://www.manantialwater.com.mx/purificacion/desinfeccion-de-agua-con-luz-ultravioleta/>

2.3. Definición de términos básicos.

Aguas residuales. - Se consideran aguas residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad, incluyéndose a estas actividades domésticas e industriales.

Anión. - Un anión es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.

Calidad. - Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

Color. - Según el estándar método 2120 D; el color del agua se mide en la escala platino cobalto.

Catión. - Un catión es un ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones.

Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU).- Elaborada y divulgada por la Oficina de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas (ONU); se utiliza para estandarizar las diferentes actividades económicas y productivas del país, ofreciendo un conjunto de categorías que sirven para la agrupación y presentación de fenómenos económicos.

Coagulación. - Este es un proceso que permite incrementar la tendencia las partículas de agregarse unas con otras para formar partículas mayores y así precipitar rápidamente.

Coloide. - Un coloide es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

Demanda biológica de oxígeno (DBO).- Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Demanda química de oxígeno (DQO).- Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

Detergente. - Es una sustancia tensoactiva que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo.

Efluentes industriales. - Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas, por su comportamiento en las aguas receptoras y en la forma como estos afectan el medio ambiente acuático, generalmente contienen sustancias orgánicas disueltas incluyendo tóxicos, materiales biodegradables y persistentes, sustancias inorgánicas disueltas incluyendo nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles.

Floculación. - Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se agrupan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su sedimentación y posterior filtrado.

Flóculo. - Es la partícula que se forma por la acumulación de partículas suspendidas.

Gestión de aguas residuales. - Conjunto de actividades que una organización realiza, para controlar los contaminantes presentes en sus aguas residuales.

Gestión ambiental. - Es el conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental.

Impacto ambiental. - Es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

Impureza. - Es una sustancia dentro de un limitado volumen de líquido, gas o sólido, que difieren de la composición química de los materiales o compuestos.

Ion. - Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra.

Oxidación. - Es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones y por tanto aumenta su estado de oxidación.

pH. - Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, este indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Riesgos químicos. - Es aquel riesgo susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos la cual puede producir efectos agudos o crónicos y la aparición de enfermedades. Es el proceso por el cual el sedimento en movimiento a través de un fluido se deposita en el fondo.

Sedimentador. - Es un tanque diseñado para acelerar la precipitación de los flóculos que se encuentran en un fluido.

Sólidos totales disueltos (TDS). - Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro- granular, que contienen los líquidos.

Turbidez. - Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua.

Valores máximos admisibles (VMA). - Es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarilla sanitaria.

2.4. Formulación de Hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General.

Las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa, permite reducir significativamente los ST (Sólidos totales) y la concentración de fosfatos.

2.4.2. Hipótesis Específicas.

- El pH, turbiedad y fosfatos que contiene las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa es de concentraciones altas, que sobre pasa los VMA.
- El pH adecuado y la concentración óptima de alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa en la ciudad de Oxapampa, nos permite reducir significativamente el contenido de ST y Fosfatos.
- Las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplen con los VMA (D.S 010-2019-VIVIENDA).

2.5. Identificación de Variables.

2.5.1. Variables Independientes.

- El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa (x_1)
- Concentración de alumbre (x_2).

2.5.2. Variables Dependientes.

- Reducción de sólidos totales (y_1)
- Reducción de fósforo total (y_2)

2.5.3. Variables Intervinientes.

- Temperatura de precipitación.
- Concentración inicial de fósforo total de las aguas residuales.

- Turbidez inicial de las aguas residuales.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Tabla N° 08. Operacionalización de variables.

Variable		Indicador	Definición	Valores finales	Tipo de variable
Independiente	pH	Nivel de pH	$-\log[H^+]$	6; 7.5 y 9	Cualitativa ordinal
	Alumbre	Nivel de concentración de alumbre	Concentración de alumbre	250; 500 y 750 ppm	Cualitativa ordinal
Dependiente	SST	Turbidez	Porcentaje de reducción de turbidez	$PRT = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$	Cuantitativa de Razón
	Fósforo total	Concentración de fósforo total	Porcentaje de reducción de fósforo.	$PRF = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$	Cuantitativa de Razón

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.

La presente investigación a) Según su finalidad fue experimental, debido a que se busca alternativa de solución al problema de contaminación del agua b) Según su alcance temporal fue sincrónico porque se estudiará en un periodo puntual, c) Por su profundidad fue explicativa porque además de medir las variables de estudio, se indicará las relaciones de influencia entre ellas. d) Según su amplitud fue micro, debido a que la investigación hará referencia al estudio de las variables en grupos pequeños, e) Según sus fuentes fue primaria, debido a que la investigación utilizará datos de primera mano (medición en laboratorio), f) Según su carácter fue cuantitativo g) Según su naturaleza fue experimental porque se trabajó con hechos provocados o manipulados en laboratorio h) Por su marco fue de laboratorio porque se dará condiciones artificiales a condiciones controladas.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación viene a ser explicativo, ya que va más allá de la descripción, están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o

sociales. Se centran en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste.

3.3. Métodos de investigación.

El método de investigación ha utilizado fue inductivo aplicativo, por qué consistió en controlar y manipular intencionalmente tres variables experimentales (Concentración de alumbre, turbidez inicial del agua y pH) en un ambiente preparado y controlado en laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Oxapampa, para observar, medir los cambios y efectos que se produce en la variable denominado dependiente (porcentaje de reducción de turbidez y de fosfatos).

3.4. Diseño de investigación.

El diseño que se realizará para esta investigación es experimental debido a que se aplicará una serie de pruebas en las cuales se introducirá cambios deliberados en las variables de entrada (Turbidez inicial, pH, contenidos de fosfatos y concentración de alumbre) que forman el proceso, de manera que se observará e identificará las causas de los cambios en la variable de salida (porcentaje de reducción de turbidez y fosfatos).

Para este caso se consideró la aplicación de diseño cuadrado latino de 3x3 el cual se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla N° 09. Diseño de cuadrado latino de 3x3

	Concentración de sulfato de aluminio (mg/l)		
	250	500	750
Muestra 1	A 6	B 7.5	C 9
Muestra 2	B 7.5	C 9	A 6
Muestra 3	C 9	A 6	B 7.5

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A, B, C: Porcentaje de reducción de turbidez y fosfatos.

3.5. Población y muestra.

3.5.1. Población.

En la zona urbana de Oxapampa se identificaron 9 lavanderías de ropas, el cual se consideró para la presente investigación como población, el cual mencionamos en la tabla N° 10.

Tabla N° 10. Lavanderías de ropa identificadas en Oxapampa.

N°	Nombre de lavandería	Dirección
1	Lavandería Blanquito	Jr. Belgrado 106
2	Lavandería Paquita	Jr Hassinger última cuadra
3	Lavandería Laundry Yurak-1	Jr Lima cuadra 4
4	Lavandería Exprés	Jr San Martín S/N
5	Lavandería Rivera	Jr Mullembruck cuadra 12
6	Lavandería Mercedes Ramos	Prolongación Bolognesi.
7	Lavandería Laundry Yurak-2	Miraflores- Carretera central
8	Lavandería burbujas	Jr Lima cuadra 3
9	Lavandería Walkover	Jr Angélica Frey cuadra 3

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10. Lavanderías de ropa de la ciudad de Oxapampa.



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Muestra.

Se tomó 5 litros de agua residual, haciendo muestreos puntuales de agua residuales en 3 lavanderías que fueron seleccionadas de forma aleatoria que presentamos a continuación.

Tabla N° 11. Lavanderías de ropa seleccionadas.

N°	Nombre de lavandería	Dirección
1	Lavandería Laundry Yurak-1	Jr Lima cuadra 4
2	Lavandería Mercedes Ramos	Prolongación Bolognesi.
3	Lavandería burbujas	Jr Lima cuadra 3

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11. Recolección de muestras.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de datos se realizó de fuentes primarias a través de mediciones directas en laboratorio el cual se realizó del 12 al 16 de julio del 2021 (Tabla N° 12), en el laboratorio de Ingeniería Ambiental Oxapampa, dichos datos fueron recolectados en una ficha elaborada para estos fines (Tabla B1 y B2 del anexo B).

3.6.1. Instrumentación

a. Equipos de Laboratorio

- Equipo para prueba de Jarras, biofase de 6 posiciones.

- Medidor multiparamétrico de agua, HANNA, modelo HI 83224.
- Turbidímetro marca OAKTON modelo T100.
- pH-metro PCE-228.
- Termómetro.
- Fiolas.
- Pipetas.
- Vasos de Precipitados.
- Probetas.

Figura N° 12. Equipo de prueba de jarras.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13. Medidor multiparamétrico de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 14. Equipo digital para medir turbidez del agua.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 15. Equipo digital para medir pH del agua.



Fuente: Elaboración propia.

b. Reactivos

- Alúmina comercial.
- Muestra de agua.
- Agua destilada.
- Reactivos para determinación de fósforo.

3.6.2. Método de Experimentación.

Para la determinación de la reducción de fosfatos y turbidez del agua, se utilizará la prueba de jarras de la siguiente manera:

Consideraciones

- Se utilizó las aguas residuales de tres lavanderías diferentes (efectos bloques).
- Se ajustó el pH en tres niveles (Bajo =6; Medio=7.5 y alto=9)
- Se agregó 3 niveles de alumbre comercial (Bajo =50 ppm; Medio=100 ppm y alto=150 ppm)

Figura N° 16. Preparación de muestras para prueba de jarras.



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

El procedimiento que se realizó en laboratorio fue:

- Colocar un vaso de 1 litro en cada una de las paletas de agitación.
- Añadir exactamente 1 litro en cada vaso, de muestra de agua residual de cada uno de las lavanderías.
- Anotar la cantidad de coagulante que se añade a cada vaso.
- Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, prender el agitador, durante 1 min a una velocidad de 120 rpm.

- e. Al cabo de un minuto, reducir la velocidad a 15 rpm y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min.
- f. Terminado el periodo de agitación, detener el agitador y se deja sedimentar los flóculos formados, por un periodo de 20 min.
- g. Después de los 20 min, se extrae el líquido sobrenadante para la realización de los análisis turbidez y fósforo total.

Cálculos:

Para realizar el cálculo de porcentaje de reducción de turbidez se usó la siguiente relación.

$$PRT = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (01)$$

Dónde:

Ti: Turbidez inicial.

Tf: Turbidez final.

PRT: Porcentaje de reducción de turbidez.

Para realizar el cálculo de porcentaje de reducción de fósforo se usó la siguiente relación.

$$PRF = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

Pi: concentración de fósforo total inicial.

Pf: concentración de fósforo total final.

PRF: Porcentaje de reducción de fósforo total.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La selección, validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados en la presente investigación se realizaron con el apoyo de bibliografías presentadas en

trabajos de investigación similares a nuestro tema. En base a lo obtenido de dichas fuentes, se elaboraron los instrumentos de recolección de información para nuestra investigación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el procesamiento de datos se utilizó la estadística descriptiva, con la finalidad de hacer un adecuado análisis e inferencia estadística y determinar la dosis optima de floculante

Se utilizó software Microsoft Excel y Jamovi para el I ANOVA al 5% de nivel de confianza de distribución de "F", cuadros y gráficos y la aplicación de la prueba de Duncan al 5%.

3.9. Tratamiento Estadístico.

El tratamiento estadístico se someterá al Análisis de varianza, el cual, es una técnica para análisis de datos, donde se prueba la hipótesis nula que todos los tratamientos son iguales, contra la hipótesis alternativa que al menos uno de los tratamientos es distinto a los demás.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

El desarrollo del trabajo de investigación que servirá de referencia para otros trabajos de investigación y que contribuirá al tratamiento de aguas residuales de lavanderías en Oxapampa, siguiendo los valores éticos del investigador y es así que doy fe que lo que se expone en el presente documento está representado en sus resultados fiel a las evaluaciones realizadas en laboratorio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

Para la realización de la investigación se utilizó el equipo pruebas de jarras de 6 posiciones marca Biofase, de cada vaso de capacidad de un litro, pH metro, turbidímetro y equipo multiparamétrico de agua obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla N° 12: Resultados obtenidos de concentración de fósforo en agua de lavandería.

Lavandería	Parámetro	Concentración de alumbre (mg/l)			
		Inicial	250 ppm	500 ppm	750 ppm
1	P(mg/l)	68,15	48,89	24,30	8,89
	pH		6	7,5	9
2	P(mg/l)	12,75	6,50	3,75	2,78
	pH		7,5	9	6
3	P(mg/l)	4,18	4,05	3,11	1,75
	pH		9	6	7,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 12 observamos los resultados de fosforo total obtenido después de cada tratamiento, presentando una reducción de concentración, con respecto a la

procedencia de las aguas residuales (lavanderías), a la cantidad de alumbre agregado (250, 500 y 750 ppm y el pH de trabajo (6.5, 7.0 y 9.00).

Tabla N° 13. Resultados obtenidos de turbidez (NTU) en agua de lavandería.

Bloques		Concentración de alumbre (mg/l)			
Lavandería	Parámetro	Inicial	250	500	750
1	Turbidez (NTU)	495	461	155	75
	pH		6	7.5	9
2	Turbidez (NTU)	349	155	85	51
	pH		7,5	9	6
3	Turbidez (NTU)	479	418	281	52
	pH		9	6	7,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 13 observamos los resultados de turbidez obtenido después de cada tratamiento, presentando una reducción de turbidez, con respecto a la procedencia de las aguas residuales (lavanderías), a la cantidad de alumbre agregado y el pH de trabajo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

Para comparar los resultados obtenidos, recurriremos al porcentaje de reducción de turbidez (PRT) y porcentaje de reducción de fósforo total (PRF), según la ecuación (01). Estos resultados se resumen en los siguientes cuadros:

Tabla N° 14. Porcentaje de reducción de fósforo (PRF).

Lavandería	Porcentaje de reducción de fósforo		
	250 ppm	500 ppm	750 ppm
1	28,26	64,35	86,96
	6	7.5	9
2	49,02	70,59	78,24
	7,5	9	6
3	2,99	25,45	58,08
	9	6	7,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 15. Porcentaje de reducción de turbidez (PRT).

Lavandería	Porcentaje de reducción de turbidez		
	250 ppm	500 ppm	750 ppm
1	6,87	68,69	84,85
	6	7.5	9
2	55,59	75,64	85,39
	7,5	9	6
3	12,73	41,34	89,23
	9	6	7,5

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 14 y 15, que según aumente la concentración de alumbre, aumenta el porcentaje de reducción de fósforo total y porcentaje de reducción de turbidez, además podemos afirmar que la procedencia de las aguas residuales (lavanderías) influye en el porcentaje de reducción de fósforo total y de turbidez, que el pH de mayor efectividad es de 7.5 que es cercano al neutro.

4.3. Prueba de Hipótesis.

Para la determinación de prueba de hipótesis realizaremos el análisis ANOVA, siguiendo los siguientes pasos:

4.3.1. Porcentaje de reducción de fósforo total

➤ **Formulación de H_0 y H_1 .**

Tratamiento.

H_0 : La aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

H₁: La aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3$$

Bloques.

H₀: La procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

H₁: La procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$$

Bloques latinos.

H₀: El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$$

H₁: El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

$$\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3$$

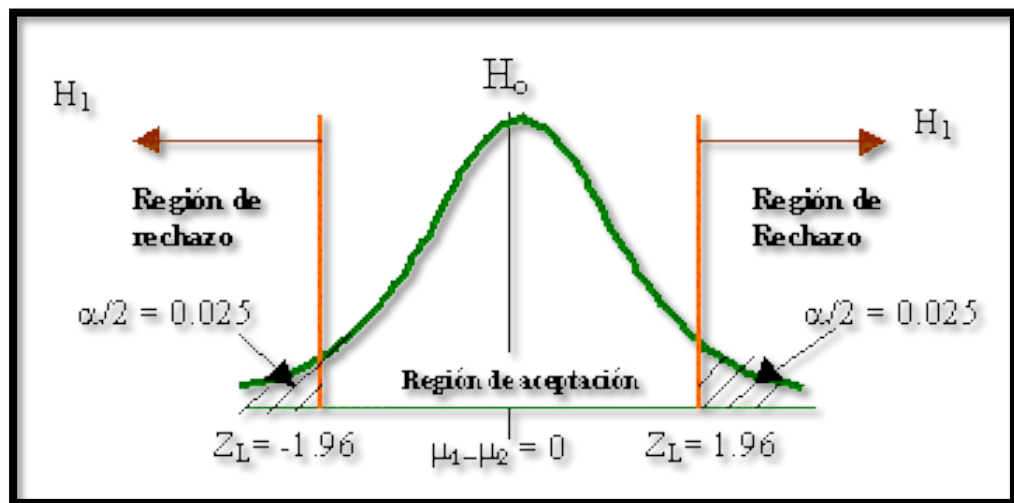
➤ **Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es de $\alpha=0,05$

➤ **Criterio.**

Rechazar H₀ si $p<0,05$ y aceptar H₀ si $p>0,05$.

Figura N° 17. Zona de rechazo y aceptación.



Fuente: <http://www.itchihuahua.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap02c.html>

➤ **Cálculo de estadístico de prueba.**

Porcentaje de reducción de fósforo total.

Tabla N° 16. Prueba de normalidad de PRF con respecto a lavanderías.

Pruebas de normalidad

Lavandería	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de fosforo total.	Lavandería 1	0,227	3	0,983	3	0,748
	Lavandería 2	0,287	3	0,930	3	0,487
	Lavandería 3	0,215	3	0,989	3	0,797

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 16, los resultados de las tres lavanderías presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 17. Prueba de normalidad de PRF con respecto a pH.

Pruebas de normalidad

pH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de fosforo total.	6	0,368	3	0,790	3	0,090
	7.5	0,215	3	0,989	3	0,800
	9	0,316	3	0,890	3	0,353

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 17, los resultados de los tres niveles de pH presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 18. Prueba de normalidad de PRF con respecto a concentración de alumbre.

Pruebas de normalidad						
Concentración de alumbre	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de fosforo total.	250 ppm	0,193	3	0,997	3	0,892
	500 ppm	0,339	3	0,851	3	0,244
	750 ppm	0,268	3	0,950	3	0,571

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 18, los resultados de los tres niveles de concentración de alumbre presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 19. Prueba ANOVA para porcentaje de reducción de fósforo total (PRF)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Porcentaje reducción de fósforo					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6078,858 ^a	6	1013,143	45,558	0,022
Intersección	23915,592	1	23915,592	1075,409	0,001
Lavandería	2376,314	2	1188,157	53,428	0,018
pH	277,407	2	138,704	6,237	0,138
C. alumbre	3425,136	2	1712,568	77,009	0,013
Error	44,477	2	22,239		
Total	30038,927	9			
Total, corregido	6123,335	8			
a. R al cuadrado = ,993 (R al cuadrado ajustada = ,971)					

Fuente: Elaboración propia.

El valor del estadístico de contraste de lavandería es de 53.428 que corresponde a $p=0,018$ que es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y afirmamos que la procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

Por lo tanto, podemos afirmar que el factor de aguas residuales de lavandería en el modelo es acertado, así el porcentaje de reducción de fósforo total depende de ello, esto debido a que cada lavandería utiliza diferentes insumos para el lavado.

El valor del estadístico de contraste de pH es de 6.237 que corresponde a un valor de $p=0,138$ que es mayor a 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula y afirmamos que, el pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

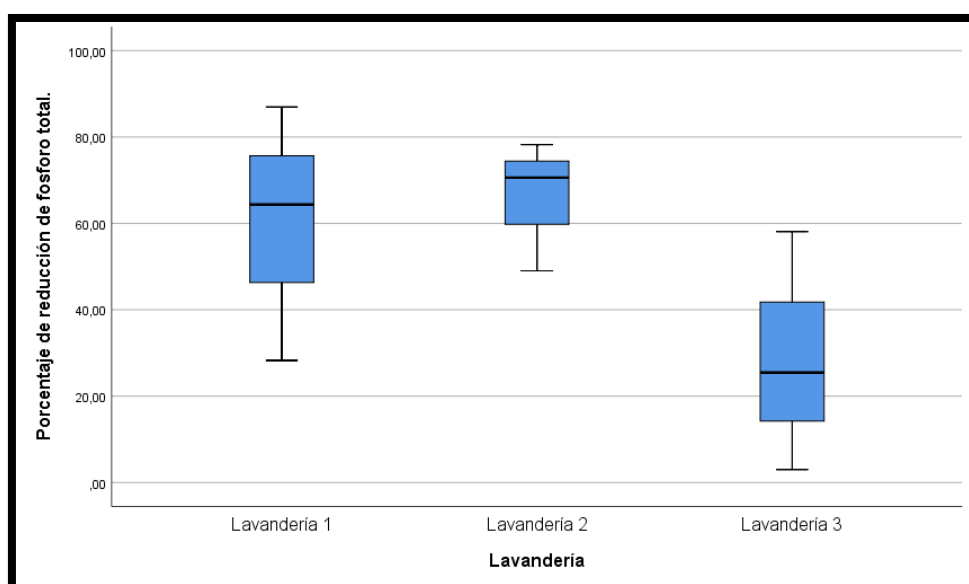
El valor del estadístico de contraste de igualdad de tratamiento, $f= 77.009$ deja a su derecha un valor de $p= 0,013$, menor que el nivel de significación de 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula y podemos afirmar que la aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

Es decir, existen diferencias significativas en el porcentaje de reducción de fósforo total (PRF) de los 3 tratamientos.

También nos muestra que R cuadrado vale 0,993, indicándonos que el modelo explica el 99,3 %de la variabilidad de los datos.

Para poder identificar que tratamiento es diferente, realizamos la prueba de comparación de medias de Duncan.

Figura N° 18. Variabilidad de PRF, según procedencia de lavandería.



Fuente: Elaboración propia.

La figura N° 18 nos indica que las aguas residuales de lavandería 1 y 2 presentan medianas semejantes de porcentaje de reducción de fósforo, además observamos que en la lavandería 1, los resultados son más dispersos,

además las aguas de la lavandería 3 presenta una mediana menor con una amplia dispersión.

Tabla N° 20. Prueba Duncan PRF con lavanderías.

Porcentaje de reducción de fósforo total.

Duncan ^{a,b}		Subconjunto	
Lavandería	N	1	2
Lavandería 3	3	28,8400	
Lavandería 1	3		59,8567
Lavandería 2	3		65,9500
Sig.		1,000	0,254

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 22,239.

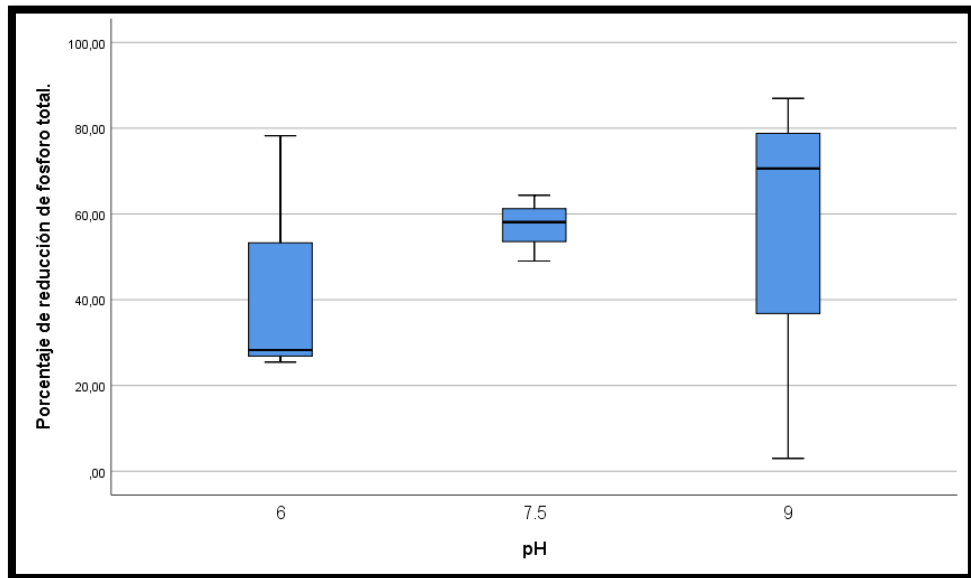
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 20, nos indica que el porcentaje de reducción de fósforo total, de las aguas residuales procedentes de las lavanderías 1 y 2, presentan medias similares de 59.8567 % y 65.95 % respectivamente, y son significativamente mayor a las aguas residuales procedentes de la lavandería 3 que es de un PRF de 28.84%.

Figura N° 19. Variabilidad de PRF, según pH.

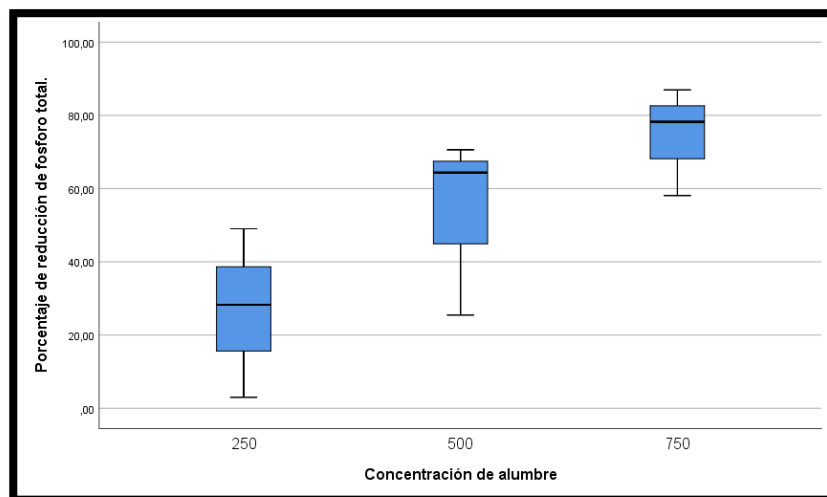


Fuente: Elaboración propia.

Según el figura N° 19 el porcentaje de reducción de fósforo total, presentan una media mayor a pH 9 y menor a pH 6, también nos indica que a pH 7.5 los resultados fueron más homogéneos.

En la figura N° 20, observamos que las medias de porcentaje de reducción de fósforo total presentan medianas diferentes, siendo menor a una concentración de 250 ppm de alumbre y mayor a 750 ppm.

Figura N° 20. Variabilidad de PRF, según concentración de alumbre.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 21. Prueba Duncan PRF con concentración de alumbre.

Porcentaje de reducción de fósforo total.

Duncan ^{a,b}		Subconjunto		
Concentración de alumbre	N	1	2	3
250	3	26,7567		
500	3		53,4633	
750	3			74,4267
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 22,239.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: elaboración propia.

Observando la tabla N° 21, afirmamos que las medias de porcentaje de reducción de fósforo total son diferentes, siendo mayor a una concentración de alumbre de 750 ppm, llegando a un PRF de 74.4267 %.

4.3.2. Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

➤ **Formulación de H₀ y H₁.**

Tratamiento.

H₀: La aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

H₁: La aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3$$

Bloques.

H₀: La procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

H₁: La procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$$

Bloques latinos.

H₀: El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, no influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$$

H₁: El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3$$

➤ **Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es de $\alpha=0,05$

➤ **Criterio.**

Rechazar H₀ si $p < 0,05$ y aceptar H₀ si $p > 0,05$.

➤ **Cálculo de estadístico de prueba.**

Tabla N° 22. Prueba de normalidad de PRT con respecto a lavanderías.

Pruebas de normalidad

Lavandería	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de turbidez	Lavandería 1	0,311	3	0,897	3	0,377
	Lavandería 2	0,256	3	0,962	3	0,624
	Lavandería 3	0,233	3	0,979	3	0,724

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 22, los resultados de las tres lavanderías presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 23. Prueba de normalidad de PRT con respecto a pH.

Pruebas de normalidad

pH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de turbidez	6	0,199	3	0,995	3	0,866
	7.5	0,225	3	0,984	3	0,757
	9	0,342	3	0,844	3	0,225

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla N° 23, los resultados de tres niveles de pH, presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 24. Prueba de normalidad de PRT con respecto a concentración de alumbre.

Pruebas de normalidad

Concentración de alumbre	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de reducción de turbidez	250	0,345	3	0,839	3	0,211
	500	0,313	3	0,895	3	0,368
	750	0,344	3	0,841	3	0,216

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 24, los resultados de los tres niveles de concentración de alumbre, presentan una significación mayor a 0.05, por tanto, presentan normalidad y podemos usar el ANOVA.

Tabla N° 25. Prueba ANOVA para porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7779,796 ^a	6	1296,633	66,835	0,015
Intersección	30082,590	1	30082,590	1550,616	0,001
Lavandería	980,904	2	490,452	25,281	0,038
pH	1064,293	2	532,146	27,430	0,035
C. alumbre	5734,599	2	2867,299	147,796	0,007
Error	38,801	2	19,400		
Total	37901,187	9			
Total, corregido	7818,597	8			

a. R al cuadrado = ,995 (R al cuadrado ajustada = ,980)

Fuente: Elaboración propia.

El valor del estadístico de contraste de lavandería es de $f=25.281$ que corresponde a $p=0,038$ que es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y afirmamos que la procedencia de las aguas residuales de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

Por lo tanto, podemos afirmar que el factor de aguas residuales de lavandería en el modelo es acertado, así el porcentaje de reducción de turbidez depende de ello, esto debido a que cada lavandería utiliza diferentes insumos para el lavado.

El valor del estadístico de contraste de pH es de 27.43 que corresponde a un valor de $p=0,035$, que es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y

afirmamos que, el pH de las aguas residuales de lavandería de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

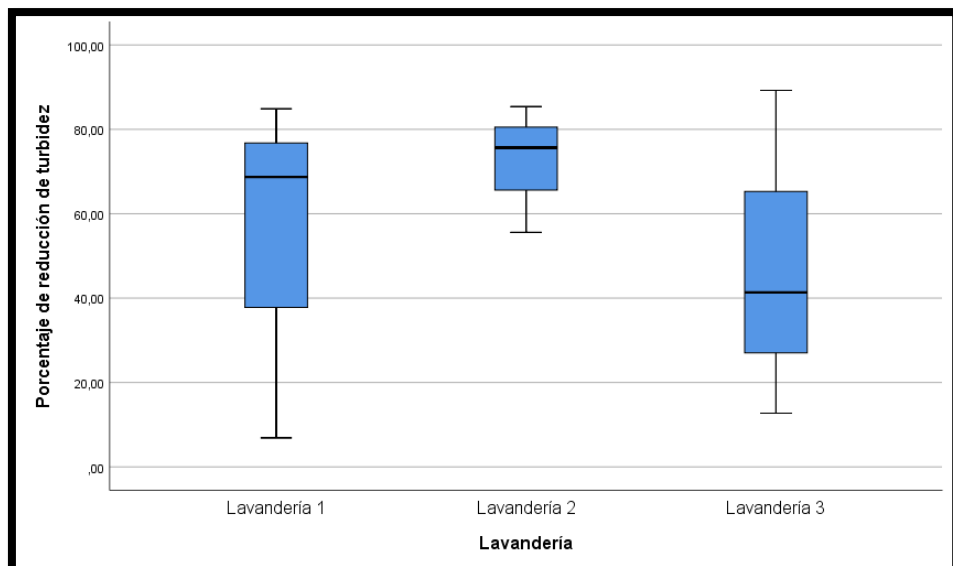
El valor del estadístico de contraste de igualdad de tratamiento, $f = 27.43$ deja a su derecha un valor de $p = 0.035$, menor que el nivel de significación de 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula y podemos afirmar que la aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

Es decir, existen diferencias significativas en el porcentaje de reducción de turbidez (PRT) de los 3 tratamientos.

También nos muestra que R cuadrado vale 0.995, indicándonos que el modelo explica el 99.5 % de la variabilidad de los datos.

Para poder identificar que tratamiento es diferente, realizamos la prueba de comparación de medias de Duncan.

Figura N° 21. Variabilidad de PRT, según procedencia de lavandería.



Fuente: Elaboración propia.

La figura N° 21 nos indica que las aguas residuales de lavandería 1 y 3 presentan medianas y dispersiones semejantes de porcentaje de reducción de turbidez, además observamos que en la lavandería 2, los resultados son más homogéneos, además las aguas de la lavandería 2 presenta una mediana mayor.

Tabla N° 26. Prueba Duncan PRT con lavanderías.

Porcentaje de reducción de turbidez

Duncan ^{a,b}		Subconjunto	
Lavandería	N	1	2
Lavandería 3	3	47,7667	
Lavandería 1	3	53,4700	
Lavandería 2	3		72,2067
Sig.		0,254	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 19,400.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

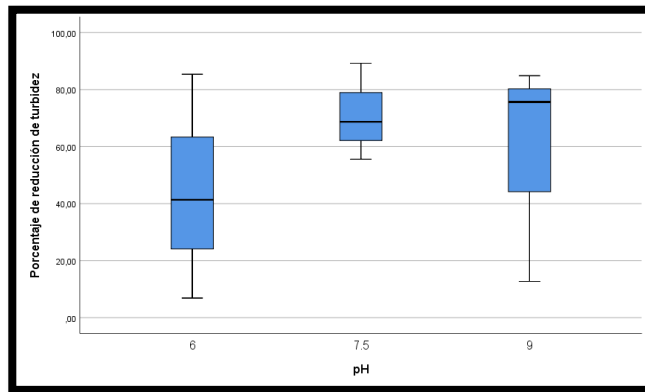
b. Alfa = 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 26, nos indica que el porcentaje de reducción de turbidez, de las aguas residuales procedentes de las lavanderías 1 y 3, presentan medias similares de 53.47 % y 47.7557 % respectivamente, y son significativamente menor a las aguas residuales procedentes de la lavandería 3 que es de un PRT de 72.2067%.

Según la figura N° 22, el porcentaje de reducción de turbidez, presenta una media mayor a pH 9 y menor a pH 6, ambos con una dispersión grande, también nos indica que a pH 7.5 los resultados fueron más homogéneos.

Figura N° 22. Variabilidad de PRT, según pH.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27. Prueba Duncan PRT con pH.

Porcentaje de reducción de turbidez			
Duncan ^{a,b}			
pH	N	Subconjunto	
		1	2
6	3	44,5333	
9	3	57,7400	57,7400
7.5	3		71,1700
Sig.		0,067	0,065

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 19,400.

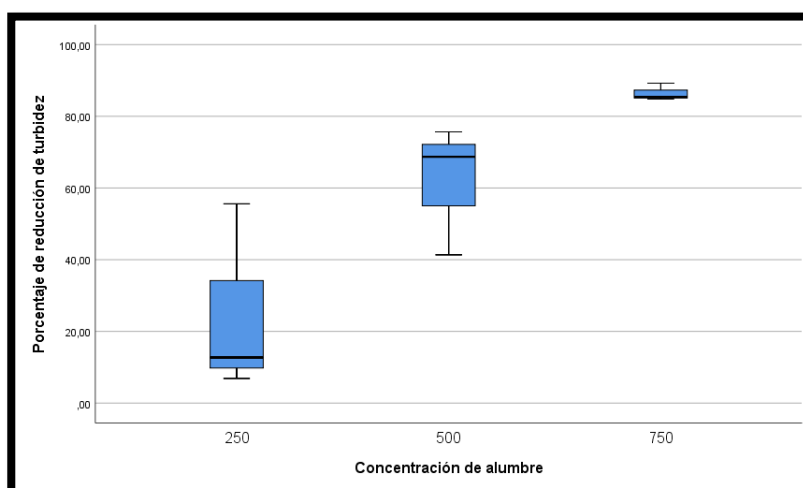
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 27, nos indica que el porcentaje de reducción de turbidez, de las aguas residuales a pH 6 y 9 presentan medias similares de 44.5333 % y 57.74 % respectivamente, y son significativamente menor a las aguas pH 7.5 que presenta un PRT de 71.17%.

Figura N° 23. Variabilidad de PRT, según concentración de alumbre.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 13, observamos que las medias de porcentaje de reducción de turbidez, presentan medianas diferentes, siendo menor a una concentración de 250 ppm de alumbre y mayor a 750 ppm.

Tabla N° 28. Prueba Duncan PRT con concentración de alumbre.

Porcentaje de reducción de turbidez				
Duncan ^{a,b}		Subconjunto		
Concentración de alumbre	N	1	2	3
250	3	25,0633		
500	3		61,8900	
750	3			86,4900
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 19,400.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

Observando la tabla N° 28, afirmamos que las medias de porcentaje de reducción de turbidez son diferentes, siendo mayor a una concentración de alumbre de 750 ppm, llegando a un PRF de 86.49 %.

➤ **Decisiones.**

Como se observó en el cuadro N° 19, el p valor es de 0.013 que es menor a 0.05 por tanto rechazamos la hipótesis nula, donde indicamos que la aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de fósforo total.

También observamos en los cuadros N° 24, el p valor es de 0.007 que es menor a 0.05 por tanto rechazamos de manera muy significativa la hipótesis nula, donde indicamos que la aplicación de alumbre en el tratamiento agua residuales procedentes de lavanderías de ropa, influye en el porcentaje de reducción de Turbidez.

4.4. Discusión de resultados.

Realizando la prueba de normalidad cuando se valuó el porcentaje de reducción de fósforo total (PRF), respecto a lavandería (procedencia de las aguas residuales), nivel de pH y concentración de alumbre comercial (tablas N° 16, 17 y 18), nos muestran que todos presentan una significación mayor a 0.05; también se procedió a realizar la prueba de normalidad, cuando se evalúa el porcentaje de reducción de turbidez (PRT), respecto a lavandería (procedencia de las aguas residuales), nivel de pH y concentración de alumbre comercial (tablas N° 22, 23 y 24), nos muestran que todos presentan una significación mayor a 0.05, que nos indica que en todos los casos presentan normalidad, por tanto, se procede a realizar la prueba ANOVA.

Realizando las prueba de ANOVA (tabla 19), de porcentaje de reducción de fósforo total (PRF), la procedencia de la aguas residuales de lavado de ropa, influye significativamente, esto debido a que cada uno de ellos utiliza insumos diferentes (detergentes, aromatizantes, lejías entre otros), el cual realizando la prueba de Duncan de comparación de medias (tabla 20), las aguas residuales

procedentes de la lavandería 3 presentó menor media (28.84 %), mientras que la aguas residuales procedentes de las lavandería 1 y 2 presentaron medias similares (59.8567 % y 65.95 %). Además, el pH presentó un p Valor de 0.138 (tabla N° 19), el cual con un nivel de significancia de 5 % nos indica que presentan medias estadísticamente similares. Según el cuadro N° 19 el nivel de concentración de alumbre (250, 500 y 750 ppm), presenta un p valor de 0.013 que a una significancia de 5 %, que indica que, si influye en el tratamiento, además realizando la prueba de Duncan (tabla N° 21) a niveles de concentración de alumbre de 250, 500 y 750 ppm presento una media de PRF de 26.7567%, 53.4633% y 74.4267% respectivamente, esto nos muestra que a mayor concentración de alumbre es mayor la reducción de fósforo total.

Realizando la prueba de ANOVA (tabla 25), de porcentaje de reducción de Turbidez (PRT), la procedencia de las aguas residuales de lavado de ropa, presenta un p valor de 0.038 que indica influye significativamente, el cual realizando la prueba de Duncan de comparación de medias (tabla 26), las aguas residuales procedentes de la lavandería 1 y 3 presentaron medias menores (47.7667 y 53.47 %), mientras que las aguas residuales procedente de la lavandería 2 presentaron media de PRT mayor (72.2067 %). Además, el pH presentó un p Valor de 0.035 (tabla N° 25), el cual con un nivel de significancia de 5 % nos indica que presentan medias estadísticamente diferentes, Realizando la prueba de Duncan (tabla N° 27) el mayor PRT se da a un pH de 7.5 con un PRT de 71.17%. Según el cuadro N° 24 el nivel de concentración de alumbre (250, 500 y 750 ppm), presenta un p valor de 0.007 que a una significancia de 5 %, que indica que, si influye en el tratamiento, además realizando la prueba de Duncan (tabla N° 28) a niveles de concentración de alumbre de 250, 500 y 750 ppm presento una media de PRT de 25.0633%, 61.89% y 86.49%

respectivamente, esto nos muestra que a mayor concentración de alumbre es mayor la reducción de Turbidez.

CONCLUSIONES

La procedencia de las aguas residuales de lavandería de ropa, si influye en la reducción de turbidez y de fósforo total (cuadro N° 19 y 25), esto se debe a que cada uno de las lavanderías usan insumos diferentes y a diferentes concentraciones al momento de hacer el servicio.

El nivel de pH, en el tratamiento de las aguas residuales de lavandería de ropa, influye de forma significativo en la reducción de turbidez (tabla N° 25), Teniendo una mayor eficiencia a un pH de 7.5 con un porcentaje de reducción de turbidez de 71.17% (tabla N° 27). Además, indicar que no influye el nivel de pH de forma significativa, en el porcentaje de reducción de fósforo (tabla N° 19).

La concentración de alumbre comercial, en tratamiento de agua residual de lavanderías, si influye de forma significativa en el porcentaje de reducción de turbidez (tabla 25), indicándonos que el modelo explica el 98 % de variabilidad de datos. La concentración optima se obtuvo a 750 ppm de alumbre comercial con porcentaje de reducción de turbidez (PRT) de 86.49 % (tabla N° 26), esto indica que, a mayor concentración, aumenta el PRT.

La concentración de alumbre comercial, en tratamiento de agua residual de lavanderías, si influye de forma significativa en el porcentaje de reducción de fósforo total (tabla 19), indicándonos que el modelo explica el 97.1 % de variabilidad de datos. La concentración optima se obtuvo a 750 ppm de alumbre comercial con porcentaje de reducción de fósforo total (PRF) de 74.4267 % (tabla N° 21), esto indica que, a mayor concentración, aumenta el PRF.

El uso de alumbre comercial, es una alternativa para poder reducir la concentración de sólidos solubles y fósforo total, en aguas residuales producto del servicio de lavandería de ropa, por tanto, cumplir con los VMA (D.S. 010-2019-VIVIENDA), para luego ser vertidos al alcantarillado.

RECOMENDACIONES

- Realizar más pruebas de jarras, para probar la floculación a diferente nivel de agitación.
- Realizar pruebas a pH más específico, para encontrar lo óptimo y así poder mejorar el efecto floculante del alumbre comercial y eliminación de fósforo total.
- Realizar trabajos de investigación para determinar el efecto a la salud humana, el uso de alumbre como floculante del agua y eliminación de fósforo total.
- Realizar pruebas a diferente concentración de alumbre más específico, para encontrar lo óptimo y así poder mejorar el efecto floculante del alumbre comercial y eliminación de fósforo total.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castaneda castro, J. G. (2004). *Reducción de hierro, magnesio y detergente en el agua por medio de arena verde de magnesio y carbón activado*. Universidad Nacional de San Carlos de Guatemala.
- Castillo Tolentino, J. A., Benites Alfaro, E., & Cabrera Carranza, C. (2019). *Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultra violeta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño , San Borja- 2017. 22, 3–8.*
- Chalco Castillo, N. S. (2017). *Tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial mediante electrofloculación en la ciudad de lima (Vol. 1)*. Universidad Nacional del Callao.
- Chambi Hanco, Z. (2018). *Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción*. Universidad Nacional del altiplano.
- Franco Alvarado, M. V. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a cas en chile*.
- Kirchmer, C., & Pérez Carrión, J. (1981). *Coagulación. Programa Regional de Mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. 1.*
- Lorenzo Acosta, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación*.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Louis salager, J. (n.d.). *Detergentes: Componentes, fabricación, fórmulas*.
- Maldonado Páez, S. L. (2008). *Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado*. Escuela Politecnia Nacional.
- Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*.
- MINAM. (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*.
- Oyarzo Vargas, M. J. (2007). *Precipitación química del fósforo mediante la adición de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de aguas [Universidad de Magallanes]*.
http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/oyarzo_vargas_2007.pdf
- Viscarra Ilenera, J. (2018). *Saneamiento y tratamiento de aguas residuales. Curso*

Especializado En Saneamiento y Tratamiento de Aguas Residuales.

http://archivosdiversos.weebly.com/uploads/2/1/7/6/21760126/guia_ces_-_saneamiento_y_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

Visitación Figueroa, L. (2004). *Degradación fotocatalítica de detergentes en efluentes domésticos*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Anexo A

Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL Y ESPECÍFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACION	VARIABLES	METODOLÓGICO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema principal. ¿Cuáles son las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa?</p> <p>Problemas específicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Qué nivel de pH, turbiedad y fosfatos contiene las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa? ➤ ¿Cuál es el pH adecuado y la concentración óptima de alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa 	<p>Objetivo General. Determinar las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa.</p> <p>Objetivos específicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar mediciones de pH, turbiedad y fosfatos de las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa. ➤ Determinar pH adecuado y la concentración óptima de alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa 	<p>Hipótesis General. Las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa, permite reducir significativamente los ST (Sólidos totales) y la concentración de fosfatos.</p> <p>Hipótesis Específicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ El pH, turbiedad y fosfatos que contiene las aguas residuales de lavanderías de Oxapampa es de concentraciones 	<p>Variable dependiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ El pH de las aguas residuales de lavandería de ropa (x_1) ➤ Concentración de alumbre (x_2). <p>Variable Independiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducción de sólidos totales (y_1) ➤ Reducción de fósforo total (y_2) <p>Variables Intervinientes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura de precipitación. ➤ Concentración inicial de fósforo total de las aguas residuales. 	<p>Tipo de investigación. La investigación es, experimental, de alcance temporal sincrónico, explicativa, de fuentes primaria, de carácter cuantitativo, de naturaleza experimental, y de laboratorio.</p> <p>Diseño de investigación. El diseño experimental utilizado fue el cuadrado latino (CL) 3x3. Explicativo – Experimental.</p>	<p>Instrumentos de recolección de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumento de medición (turbidímetro, fotómetro, potenciómetro entre otros) <p>Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis documental ➤ Test instrumental ➤ Ficha de recolección de datos.

<p>en la ciudad de Oxapampa?</p> <p>➤ ¿Las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplen con los VMA?</p>	<p>en la ciudad de Oxapampa.</p> <p>➤ Verificar que las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplan con los VMA (D.S 010-2019-VIVIENDA).</p>	<p>altas, que sobre pasa los VMA.</p> <p>➤ El pH adecuado y la concentración optima alumbre para la precipitación química eficiente de las aguas residuales de lavandería de ropa en la ciudad de Oxapampa, nos permite reducir significativamente el contenido de ST y Fosfatos.</p> <p>➤ Las aguas residuales de lavanderías de ropa de Oxapampa, que son vertidas al alcantarillado después de la precipitación química cumplen con los VMA (D.S 010-2019-VIVIENDA).</p>	<p>➤ Turbidez inicial de las aguas residuales.</p>		
---	--	---	--	--	--

Anexo B

Instrumentos de Recolección de datos.

Tabla B1. Instrumento de recolección de fósforo total.

Lavandería	Parámetro	Concentración de alumbre (mg/l)			
		Inicial	250 ppm	500 ppm	750 ppm
1	P(mg/l)				
	pH		6	7.5	9
2	P(mg/l)				
	pH		7,5	9	6
3	P(mg/l)				
	pH		9	6	7,5

Tabla B2. Instrumento de recolección de turbidez.

Bloques		Concentración de alumbre (mg/l)			
Lavandería	Parámetro	Inicial	250	500	750
1	Turbidez (NTU)				
	pH		6	7.5	9
2	Turbidez (NTU)				
	pH		7,5	9	6
3	Turbidez (NTU)				
	pH		9	6	7,5

Anexo C

Panel fotográfico

Foto C1. Centros de lavandería, instalada en viviendas



Fuente: Elaboración propia

Foto C2. Equipo prueba de jarras



Fuente: Elaboración propia

Foto C3. Equipo fotométrico para pruebas de jarra



Fuente: Elaboración propia

Foto C4. Toma de muestra de aguas residuales de lavanderías



Fuente: Elaboración propia

Foto C5. Preparación de muestras para la prueba de jarras



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres de informante: Grecia Yoseli Witting Köhel

1.2. Grado académico: Magister

1.3. Cargo e Institución donde labora: Ministerio del Ambiente. Cargo: Gestor social III de la Unidad Eje

1.4. Título de la investigación: "Determinación de condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa"

1.5. Autor del instrumento: Tejada De La Cuba, Gabriela

1.6. Nombre del instrumento:

Recolección de fósforo total

Recolección de turbidez

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y fórmulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial.					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio				X	
CONSISTENCIA	Basado en aspecto teórico científico					X
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto de la tabla					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 94%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Instrumento adecuado para realizar la recolección de fósforo total y de turbidez de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa.

Oxapampa , 19 de enero del 2023	Completar		Completar
Lugar y fecha	705846		

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres de informante: Florencia Trama

1.2. Grado académico: Doctorado

1.3. Cargo e institución donde labora: CNEH-PERU Directora

1.4. Título de la investigación: "Determinación de condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa"

1.5. Autor del instrumento: Gabriela Tejada De La Cuba

1.6. Nombre del instrumento:

Recolección de fósforo total

Recolección de turbidez


II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y fórmulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial.					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio				X	
CONSISTENCIA	Basado en aspecto teórico científico					X
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto de la tabla					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 94%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Instrumento adecuado para realizar la recolección de fósforo total y de turbidez de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa.

Oxapampa , 19 de enero del 2023	727981		979771832
Lugar y fecha	CE	Firma del experto	N° Celular



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres de informante: Tejada De La Cuba, Gabriela

1.2. Grado académico: Ingeniera Ambiental

1.3. Cargo e institución donde labora:

1.4. Título de la investigación: "Determinación de condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial, de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa"

1.5. Autor del instrumento: Roberto Bohórquez

1.6. Nombre del instrumento:

Recolección de fósforo total

Recolección de turbidez

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y fórmulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar las condiciones óptimas para la precipitación química con alumbre comercial.					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio				X	
CONSISTENCIA	Basado en aspecto teórico científico					X
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto de la tabla					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 94%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Instrumento adecuado para realizar la recolección de fósforo total y de turbidez de aguas residuales de lavanderías de ropa en la ciudad de Oxapampa.

Oxapampa , 19 de enero del 2023	Completar	Anderson Marcelo Manrique	Completar
Lugar y fecha	40914563		