

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO SEKE DE LA
COMUNIDAD DE TACACHIRA DE LA CIUDAD DE EL ALTO**

POR: ROSMERY ANTONIETA TARQUI DUEÑAS

TUTOR: Ing. HERNANDO PALMA CARRASCO

CO-TUTOR: Ing. JAIME CHINCHEROS PANIAGUA

TRIBUNAL: Ph.D. MARÍA EUGENIA GARCÍA MORENO

LA PAZ – BOLIVIA

Junio, 2022

DEDICATORIA

El presente trabajo deseo dedicar a mi familia, quienes fueron los impulsores para la conclusión de mi carrera profesional y que me apoyaron en cada una de las etapas de mi estudio, en especial a mis señores padres Cristina Dueñas y Antonio Tarqui por brindarme todo su amor y apoyo incondicional y por darme la oportunidad de tener una formación académica para mi futuro, a mis queridas(os) hermanas(os) Marleni, Maribel, Nelson y Nabil que siempre estuvieron a mi lado dándome apoyo moral en mis momentos más difíciles de mi formación académica y finalmente a mis pequeños sobrinos Santiago y Keyra por brindarme de su ternura y toda su alegría.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios todopoderoso, por darme la vida y la oportunidad de tener una formación profesional.

A la Universidad Mayor de San Andrés, a mi Carrera de Ciencias Químicas, por ser la casa de mi formación académica, agradecer a mis Docentes por todos aquellos conocimientos que me impartieron el tiempo que curse esta carrera.

Al Laboratorio de Calidad Ambiental (L.C.A) del Instituto de Ecología de la carrera de Biología, por brindarme apoyo para el desarrollo de mi proyecto de grado.

Agradecer de igual manera a mis tutores Ing. Jaime Chincheros Paniagua, responsable del laboratorio (L.C.A.) y el Ing. Hernando Palma Carrasco, docente de la carrera de Química por todo el apoyo que me brindaron dirigiéndome con sus conocimientos en todo el proceso de la elaboración de este trabajo.

A mi tribunal la Ph.D. María Eugenia García Moreno por el empeño, la predisposición y asesoramiento para el desarrollo del proyecto de grado.

A los licenciados: Lic. Raúl Quispe, Lic. Noelia Rendón y Lic. Vania García, por su apoyo, enseñanza y la linda amistad que me brindaron en el transcurso de todo este tiempo en Laboratorio.

A todos mis amigos (as), que me apoyaron en este tiempo en particular a Heide, Liseth y Niki, por siempre darme esos buenos ánimos de seguir adelante.

Y en especial quiero agradecerme a mí por creer en mí, por hacer este gran trabajo posible, por jamás rendirme y ser una persona muy perseverante y capaz de lograr todo lo que se propone con la compañía de Dios.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
TABLA DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1. Introducción	2
1.1. Antecedentes	3
1.2. Problema y problemática.....	5
1.3. Hipótesis.....	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Justificación.....	7
1.5.1. Justificación social y académica	7
1.5.2. Justificación económica.....	7
1.5.3. Justificación ambiental	8
CAPÍTULO II	9
2. Marco teórico	10
2.1. El agua.....	10
2.2. Clasificación de las aguas y su abastecimiento.....	10

2.2.1.	Clasificación	10
2.2.2.	Abastecimiento de agua	12
2.3.	Calidad del agua	13
2.4.	Parámetros fisicoquímicos	15
2.4.1.	Temperatura	15
2.4.2.	Potencial de Hidrogeno (pH)	15
2.4.3.	Turbiedad	15
2.4.4.	Sólidos Totales.....	16
2.4.5.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	16
2.5.	Fuentes de contaminación del agua.....	16
2.5.1.	Aguas residuales	17
2.5.2.	Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas.	18
2.6.	Principales contaminantes presentes en el agua de río.....	19
2.7.	Tipos de partículas sólidas en el agua	20
2.7.1.	Partículas en Suspensión.....	21
2.7.2.	Los Coloides	21
2.8.	Tratamiento de aguas residuales	21
2.8.1.	Coagulación- Floculación	23
2.8.1.1.	Coagulación.....	23
2.8.1.2.	Factores que influyen en la coagulación	24
2.8.1.3.	Floculación	25
2.8.1.4.	Factores que influyen en la floculación.....	26
2.8.2.	Sedimentación.....	26
2.9.	Coagulantes	27
2.9.1.	El sulfato de aluminio	27

2.10.	Ensayo de jarras.....	28
2.10.1.	Procedimientos para llevar una prueba de jarras.	29
2.10.2.	Criterios para la evaluación	30
CAPÍTULO III		31
3.	Metodología experimental	32
3.1.	Ubicación del área de estudio y recolección de la muestra.....	32
3.1.1.	Recolección de la muestra de agua	33
3.2.	Conservación de las muestras	35
3.3.	Parámetros y métodos de análisis	36
3.4.	Lugar de estudio de los análisis	36
3.5.	Metodología	37
3.6.	Descripción de la metodología.....	38
3.6.1.	Equipo de prueba de jarras.....	38
3.6.2.	Determinación para las condiciones óptimas de tratamiento.....	38
3.6.2.1.	Determinación de la concentración óptima de coagulante	39
3.6.2.2.	Ensayo para la prueba de jarras	41
3.6.3.	Análisis fisicoquímicos antes y después del tratamiento.....	44
3.6.3.1.	Determinaciones fisicoquímicas en laboratorio.....	44
CAPÍTULO IV		49
4.	Resultados y discusiones.....	50
4.1.	Determinación de la concentración de coagulante óptimo.	50
4.2.	Determinación del tiempo de sedimentación óptima	57
4.3.	Análisis comparativos de los resultados obtenidos.....	58
4.4.	Parámetros óptimos finales encontrados para el tratamiento de aguas	64
4.5.	Análisis fisicoquímicos anterior y posterior al tratamiento de agua.	65

4.5.1. Parámetros fisicoquímicos analizados para la Jarras N° 5	65
4.5.2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados	65
CAPÍTULO V	68
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones.....	70
5.3. Bibliografía	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos del número de habitantes en la Ciudad de El Alto	3
Tabla 2: Parámetros Organolépticos, fisicoquímicos, metales pesados y bacteriológicos para una buena calidad de agua.....	14
Tabla 3: Fuentes de aguas residuales y el tipo de contaminación que genera.	17
Tabla 4: Tiempos de decantación de las diferentes partículas	21
Tabla 5: Datos de la muestra, tomados en campo.....	35
Tabla 6: Preservación de las muestras de agua.....	36
Tabla 7: Parámetros y métodos a utilizar.....	36
Tabla 8: Volumen de alícuota para la concentración de coagulante rango 0-80 mg/L...41	
Tabla 9: Prueba de jarras realizadas, con diferentes variables.....	44
Tabla 10: Prueba de jarras N° 1	50
Tabla 11: Prueba de jarras N° 2	51
Tabla 12: Prueba de jarras N°3	52
Tabla 13: Prueba de jarras N°4	53
Tabla 14: Prueba de jarra N°5.....	54
Tabla 15: Prueba de jarras N°6	55
Tabla 16: Datos de concentración óptima de coagulante y turbidez final	56
Tabla 17: Variación del tiempo para una sedimentación óptima.....	57
Tabla 18: Datos finales de la prueba de jarras N°1	58
Tabla 19: Datos finales de la prueba de jarra N°2	59
Tabla 20: Datos finales de la prueba de jarra N°3	60
Tabla 21: Datos finales de la prueba de jarras N°4.....	61
Tabla 22: Datos finales de la prueba de jarras N°5.....	62
Tabla 23: Datos finales de la prueba de jarra N°6	63
Tabla 24: Parámetros óptimos finales para el tratamiento de aguas del Río Seke.....	65
Tabla 25: Determinación de temperatura de la muestra de agua tratada	65
Tabla 26: Determinación de turbidez de la muestra de agua tratada	66
Tabla 27: Determinación del pH de la muestra tratada.....	66

Tabla 28: Determinación de la conductividad de la muestra de agua tratada.....	66
Tabla 29: Determinación de la DQO de la muestra de agua tratada.....	66
Tabla 30: Determinación de sólidos totales disueltos de la muestra de agua tratada.	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vaciado de losa, para el tanque de sedimentación de Puchukollo	4
Figura 2: Planta de tratamiento de Aguas Residuales Tacachira en construcción.....	5
Figura 3: Contaminación por tipo de fuente de agua.....	17
Figura 4: Componentes de aguas residuales y sus efectos.....	18
Figura 5: Clasificación e intervalo del tamaño de partículas presentes en el agua.	20
Figura 6: Esquema de tratamiento de aguas residuales	22
Figura 7: Desestabilización de las cargas en la coagulación.	24
Figura 8: Equipo para prueba de jarras	29
Figura 9: Ubicación de la comunidad de Tacachira en la Ciudad de El Alto.....	32
Figura 10: Ubicación de la Comunidad de Tacachira vista satelital.....	33
Figura 11: Lavado del galón de plástico para el muestreo.	34
Figura 12: Toma de muestra de agua del Río Seke	34
Figura 13: Ubicación del punto de muestreo vista satelital	35
Figura 14: Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA)	37
Figura 15: Diagrama de flujo	37
Figura 16: Equipo de prueba de jarras que se utilizó.....	38
Figura 17: Vasos precipitados, con muestra de agua para diferente concentración de coagulante.	41
Figura 18: Jeringas con diferentes volúmenes de coagulante para cada Jarra.	42
Figura 19: Mezcla de agitación lenta después de la aplicación del coagulante.....	42
Figura 20: Conos de sedimentación Imhoff.....	43
Figura 21: Determinación de Turbidez (Turbidimeter AL 1000).....	45
Figura 22: Determinación del pH	46
Figura 23: Determinación de la conductividad.....	46
Figura 24: Evaporación baño maría y capsulas para evaporación del líquido.....	47
Figura 25: Preparación de la muestra para la digestión de DQO a 150 °C	48
Figura 26: Concentración de coagulante vs Turbidez prueba de jarra N° 1	50
Figura 27: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N° 2.....	51
Figura 28: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°3.....	52

Figura 29: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°4.....	53
Figura 30: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°5.....	54
Figura 31: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°6.....	55
Figura 32: Concentración óptima de coagulante vs turbidez.....	56
Figura 33: Tiempo de sedimentación óptimo	57
Figura 34: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°1	58
Figura 35: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°2	59
Figura 36: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°3	60
Figura 37: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°4	61
Figura 38: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°5	62
Figura 39: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°6	63
Figura 40: Ensayo de jarras óptimo	64

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Clasificacion de los cuerpos de agua según su aptitud de uso Ley 1333.....	76
Anexo 2: Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua	77
Anexo 3: Procedimiento de muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos según Norma Boliviana 496	78
Anexo 4: Fotografías del procedimiento de la prueba de jarras utilizando como coagulante el Sulfato de aluminio (Alumbre)	79

RESUMEN

En el presente proyecto se da a conocer los resultados obtenidos del tratamiento de aguas residuales, para la reducción de contaminantes y depuración para agua de reusó. Para el presente trabajo de tratamiento de aguas residuales, se han optimizado los procesos físico-químicos (coagulación, floculación y sedimentación), en el laboratorio de Calidad Ambiental.

Las aguas residuales se recolectaron del Río Seke de la comunidad de Tacachira, situada en la Ciudad de El Alto, considerando que es uno de los ríos más representativo en cuanto a su contaminación. Previo al tratamiento a estas aguas, se han realizado análisis físico-químicos fundamentales (pH, temperatura, conductividad, sólidos totales, turbidez y DQO) para la caracterización del grado de contaminación.

Mediante el procedimiento denominado “jar-test” (prueba de jarras), en la muestra original se realizó una serie de ensayos, permitiendo obtener la dosis óptima del coagulante (sulfato de aluminio), en condiciones de pH, tiempo de remoción velocidad en rpm para la mezcla y tiempo de sedimentación durante el proceso de floculación y coagulación.

Una vez finalizado el tratamiento a nivel de laboratorio, se toman muestras del líquido resultante de la sedimentación, para realizar los análisis como turbidez, conductividad, pH, DQO y sólidos totales.

Con los datos experimentales obtenidos, se ha determinado las variables operativas: dosis de coagulante, tiempo de mezcla, velocidad de agitación y tiempo de sedimentación. Estas condiciones óptimas pudieron comprobarse con la reducción del nivel de contaminación inicial que presentaba el agua residual, medidos mediante la turbidez.

Con este proyecto se contribuye al estudio del tratamiento y depuración de las aguas residuales para el cumplimiento a la Ley N° 1333 Contaminación Hídrica y sus reglamentos.

Palabras clave: Coagulación- Floculación, prueba de jarras, tratamiento de aguas residuales, análisis físico-químicos.

The background features a large, faint watermark of the University of the Pacific logo. The logo is an oval shape with a sunburst at the top, a central shield with a cross, and a banner at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ANDREAE" is written around the perimeter of the oval.

CAPÍTULO I

1. Introducción

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el continuo funcionamiento de las actividades agrícolas e industriales, no hay otro elemento que pueda sustituir al agua, por tanto, sin el agua, la vida en el planeta no existiría (Cortines, 2014)

El agua potable es necesaria para la vida, la salud y para una existencia productiva. La salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de la calidad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos, cuyas dolencias se deben al consumo insalubre del agua (Cirelli, 2012).

Uno de los problemas más importantes sobre el modo de uso del agua, es el grado de contaminación que posee. La calidad de agua tiene consecuencias directas en la salud humana, situación que se torna más grave por la demanda creciente que se tiene en la actualidad.

Las principales causas de contaminación tanto para el agua dulce como la salada, son los vertidos incontrolados de las aguas residuales, municipales, urbanas e industriales, muchas veces sin tratamiento previo, así como las prácticas agrícolas y pecuarias (Cirelli, 2012).

Las aguas residuales son aquellas aguas de desecho que contienen una gran cantidad de sustancias contaminantes (orgánicos e inorgánicos) y que han sido empleados en alguna actividad humana sea doméstica, industrial, pecuaria, agrícola o recreativa (Lopez, 2018).

Las tecnologías de tratamiento necesarias para el cumplimiento de las normas implican el desarrollo de procesos de tratamiento y técnicas de desinfección más eficientes, para lograr una reutilización adecuada de las aguas tratadas, asegurando

productos agrícolas seguros, para consumidores y trabajadores, lo que al mismo tiempo permitiría minimizar su impacto al medio ambiente (Llully, 2011).

Santiago (2002), indica que los tratamientos primarios avanzados (TPA) empleando una combinación de procesos de coagulación-floculación y sedimentación, se logran reducciones de sólidos totales de 70 a 90% (Fernández & Veliz, 2016).

1.1. Antecedentes

Actualmente El Alto cuenta con 14 distritos, de los cuales 10 son urbanos y 4 rurales en proceso de urbanización. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Tacachira cubrirá las necesidades de los distritos 7,14 y 11 (CAF, 2020).

Tabla 1: Datos del número de habitantes en la Ciudad de El Alto

Distritos que conforman el municipio de El Alto				
Distritos	Población Censo 2012	Categoría del distrito	Superficie en kilómetros cuadrados	Densidad de habitantes/km ²
Distrito 1	87 997	Urbano	10,23 km ²	8601 hab/km ²
Distrito 2	73 939	Urbano	11,98 km ²	6171 hab/km ²
Distrito 3	144 828	Urbano	17,74 km ²	8163 hab/km ²
Distrito 4	107 147	Urbano	18,47 km ²	5801 hab/km ²
Distrito 5	104 226	Urbano	15,76 km ²	6613 hab/km ²
Distrito 6	90 538	Urbano	15,38 km ²	5886 hab/km ²
Distrito 7	44 535	Urbano	29,86 km ²	1487 hab/km ²
Distrito 8	121 843	Urbano	41,01 km ²	2971 hab/km ²
Distrito 9	1 720	Rural	13,26 km ²	139 hab/km ²
Distrito 10	785	Rural	38,34 km ²	20 hab/km ²
Distrito 11	1 081	Rural	9,83 km ²	109 hab/km ²
Distrito 12	19 816	Urbano	8,30 km ²	2387 hab/km ²
Distrito 13	2 085	Rural	180,91 Km ²	11 hab/km ²
Distrito 14	47 912	Urbano	16,96 Km ²	2825 hab/km ²

Fuente: INE/ Gobierno Autónomo Municipal de El Alto 2015

En la ciudad de El Alto existen fuentes de contaminación que son industriales, hospitalarios, aguas domesticas urbanas, agrícolas, lixiviado de desechos sólidos clandestinos y mataderos municipales.

Todas las descargas líquidas desembocan a los Ríos Seke y Seco, llegando al Río Katari con una carga contaminante (orgánica e inorgánica), altamente elevada que van eutrofizando el lago menor del Lago Titicaca (BOLIVIA, 2018).

Según los estudios de Carlos Revilla¹, la planta de Puchukollo de la Ciudad de El Alto, funciona desde 1998 para el tratamiento de las aguas residuales de una población de 500.000 habitantes en esa época. En la actualidad no logra depurar las aguas servidas por el incremento de población y contaminación que existe (Revilla, 2021)

El 23 de agosto de 2021 el Gerente Técnico de la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS) Tomas Quisbert, informó el proceso de ampliación y mejoramiento de la Planta de Tratamiento Puchukollo, el Proyecto “Mejoramiento y Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Puchukollo”, financiando y ejecutado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) a través de la Unidad Coordinadora del Programa de Agua y Alcantarillado Periurbano (UCP PAAP) y supervisado por EPSAS, forma parte del Programa de “Saneamiento del Lago Titicaca” y tiene como objetivo “Contribuir a la descontaminación de la cuenca del Río Katari y la descarga en el Lago Titicaca en el sector Bahía Cohana, además de generar las condiciones necesarias para mejorar la calidad de vida de la población” (EPSAS, 2021)



Figura 1: Vaciado de losa, para el tanque de sedimentación de Puchukollo

¹ Investigador en el Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA)

Fuente: Noticias de la empresa pública social de agua y saneamiento (EPSAS, 2021)

En el 2020 el Ministerio de Planificación del Desarrollo (MPD) del Estado Plurinacional de Bolivia, MMA y A y la Corporación Andina de Fomento (CAF) suscribieron un contrato de crédito por once punto cinco millones de dólares, destinado a financiar la construcción y puesta en marcha del PTAR de Tacachira, que beneficiará inicialmente a 18.000 habitantes de los distritos 7,11 y 14 de El Alto, con la mejora de sus condiciones de salud y calidad de vida, al dotarles servicio de saneamiento básico y asegurar la recolección y tratamiento de sus aguas servidas para luego ser descargadas en el Río Seke (CAF, 2020)



Figura 2: Planta de tratamiento de Aguas Residuales Tacachira en construcción.

Fuente: Elaboración propia por google Maps

1.2. Problema y problemática

Los distritos 7,14 y 11 de la Ciudad de El Alto presentan una alta contaminación de sus Ríos Seco y Seke, la cual es un problema ya que estas son generadas por las industrias, hospitales, efluentes domésticos, urbanos, agrícolas, lixiviado de rellenos sanitarios,

mataderos municipales y clandestinos. Todos estos efluentes son descargados a los Ríos, sin un tratamiento, la cual desemboca al Río Seke, llegando hacia la comunidad de Tacachira con una carga contaminante (orgánica e inorgánica), altamente elevada que van eutrofizando la Bahía de Cohana del lago menor del Lago Titicaca.

El problema adicional y sinérgico (Problemática) es el deterioro de la Salud de la zona y medio ambiente local, asimismo, la proliferación de insectos dañinos (moscas), el mal aspecto del paisaje, el mal olor frecuente que trasciende por una gran extensión en la zona. Es muy posible que estos problemas adicionales sean la causa de enfermedades recurrentes en la zona, especialmente gastrointestinales, conjuntivitis en los niños y cuadros de enfermedades respiratorias agudas.

En consecuencia, se debe conocer el grado de contaminación que tiene el Río Seke de la Comunidad de Tacachira, para poder realizar un tipo de tratamiento fisicoquímico a nivel de laboratorio y así minimizar la carga contaminante y el impacto ambiental que genera.

1.3.Hipótesis

El grado de contaminación del Río Seke de la comunidad de Tacachira es elevado. “Se puede obtener aguas con menor grado de contaminación para su reusó, utilizando métodos fisicoquímicos y biológicos económicos y al alcance técnico y económico, para Tratamiento de Aguas Residuales del Río Seke, y dar cumplimiento al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley No. 1333”

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Disminuir la carga contaminante de las aguas del Río Seke, con la implantación de un método diseñado a nivel laboratorio químico, para la depuración de aguas en la Comunidad de Tacachira de la Ciudad de El Alto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad de las aguas del río de la Comunidad de Tacachira para establecer la carga contaminante (orgánica e inorgánica).
- Caracterizar la dosis de coagulante, para la obtención de valores óptimos mediante pruebas de laboratorio Jar-Test
- Determinar parámetros fisicoquímicos de muestras de agua tratada con la finalidad de una comparación respecto a los datos iniciales.
- Contar con el proceso de depuración evaluando los resultados obtenidos en laboratorio para establecer los límites permisibles según ley 1333.

1.5. Justificación

Este trabajo se centra en el resultado de reúso y aprovechamiento que puede tener las aguas del Río Seke para la Comunidad de Tacachira a partir de su tratamiento y recirculación.

1.5.1. Justificación social y académica

Actualmente hay que resaltar que la reutilización del agua es un factor indispensable para la sociedad, ya que, al ser un recurso renovable, se debería realizar tratamientos tecnológicamente aptas para generar un reúso, de manera que se cuente con mayores beneficios productivos y su recirculación (A.A.P.S., 2019)

El trabajo que se realice servirá para apuntalar la investigación de los medios de conservación y aprovechamiento de nuestros recursos acuíferos, a partir de la investigación y desarrollo de procesos en los laboratorios de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), particularmente al Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ).

1.5.2. Justificación económica

La contaminación de las aguas del Río de la Comunidad de Tacachira afecta directamente en la alimentación de su ganado, ya que la comunidad se caracteriza por producir leche, y esta sería perjudicial económicamente para los Comunarios, en

consecuencia, también afecta al lago menor del Titicaca, por el grado de contaminación que llega al lugar. Los peces y otros animales que beben de estas aguas contaminadas suelen enfermarse y en el peor de los casos llegan a morir.

1.5.3. Justificación ambiental

La contaminación que existe en el lago Titicaca es muy preocupante ya que recibe una considerable carga de contaminantes que provienen desde la Ciudad de El Alto que son transportados por los ríos y son desembocados directamente al Lago Titicaca.

Es necesario realizar un tipo de tratamientos al efluente de la Comunidad de Tacachira para beneficio en la disminución de grado de contaminación, que llega directamente hacia el Lago Titicaca y también ayudaría bastante para su reusó.

El reúso de las aguas residuales tratadas, es una práctica que se realiza debido a la escasez, el difícil acceso y el incremento de la demanda del recurso agua. (A.A.P.S., 2019).

...

CAPÍTULO II



2. Marco teórico

2.1. El agua

El agua es uno de los recursos naturales más vitales para el desarrollo y existencia de los seres vivos ya que resulta imprescindible en la vida cotidiana. Este recurso también es de mayor importancia en el entorno ambiental para que pueda desarrollarse de manera productiva todas las actividades, tienen un impacto de manera directa o indirecta a las fuentes que nos proveen de agua.

El cuerpo humano requiere de $\frac{3}{4}$ partes de agua para un buen funcionamiento de nuestro organismo, así poder llevar a cabo nuestras actividades diarias. (Guadarrama Tejas , Kido Miranda , Roldan Antunez, & Salas Salgado , 2016)

A pesar de esta trascendental importancia, existe una escases generalizada de agua y es posible que algún día nos quedemos sin ella, pues mientras la población humana va en continuo ascenso, la disponibilidad de agua va en continuo descenso. Por otro lado, debemos ser conscientes del cuidado de este recurso y el uso poco responsable y poco razonable que tenemos con ella, en especial las diferentes fuentes de contaminación,

2.2. Clasificación de las aguas y su abastecimiento

2.2.1. Clasificación

Agua potable

Definida por la OMS como el agua utilizada para los fines de consumo humano, domésticos y la higiene personal. La calidad de estas aguas depende de las condiciones naturales en donde se encuentran las fuentes de agua, para poder preservarlo y mantenerlo libre de contaminantes. Existen varias leyes Norma Boliviana (NB 514) y reglamentos que regulan la distribución del agua con el propósito de proteger la salud pública.

Agua estancada

Es el agua que queda atrapada en la superficie del suelo porque está saturado o porque es impermeable y no hay suficiente desnivel para que escurra. Si contiene una cantidad importante de materia orgánica y nutrientes los microorganismos proliferan hasta acabar con todo el oxígeno disuelto en el agua. Cuando esto ocurre, los microorganismos viven sin oxígeno y utilizan otras sustancias para respirar. El agua estancada tiene un típico olor a “podrido”, debido a la emisión de gases como sulfuros, metano e hidrógeno, producto de la respiración anaerobia de los microorganismos. (agua.org.mx, 2017)

Aguas residuales, negras o servidas

Se denominan aguas residuales cuando han sido contaminadas por diversos usos y se les denomina aguas negras por el color que presentan. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provendrían del uso doméstico, mientras que las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado (agua.org.mx, 2017)

Dentro de este concepto de aguas residuales (Vasquez, 2015) se incluyen aguas con diversos orígenes:

Aguas residuales domésticas: Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Aguas urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente

se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta de Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

2.2.2. Abastecimiento de agua

a) Aguas naturales: Son aguas que se dan de forma natural, cuyas propiedades originales no han sido modificadas por la actividad humana según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) se clasifican en:

Superficiales, son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo, estas aguas son una fuente para consumo humano y es más utilizada para la agricultura. Son aguas de lagos, lagunas, y sus afluentes, nevados y glaciares;

Subterráneas, son aquellas que se encuentran bajo la superficie de la tierra, es recargada con agua de lluvia o aguas provenientes de derretimiento de nieve, proporcionando agua potable en un 50% para la población mundial.

Meteóricas o atmosféricas, que provienen de lluvias de precipitación natural.

b) Tratamiento preventivo para el consumo de agua

Se realiza una desinfección de las aguas extraídas de pozo mediante una cloración, estas aguas extraídas de pozo son aptas para el consumo humano y cumple con las exigencias de la OMS y NB 512.

Es muy importante tener en cuenta que estas fuentes de abastecimiento de agua se realizan con una perforación profunda para evitar el contacto directo de contaminación de las aguas residuales de alcantarillado sanitario (Habitat, 2011)

c) Producción y distribución de agua potable

La producción de aguas se realiza a partir de un sistema de provisión de agua potable como ser de pozos.

Estos pozos son perforados a una profundidad de 350 metros, el agua es extraída utilizando bombas eléctricas y son impulsados a los tanques de almacenamiento, donde se aplica el hipoclorito de calcio o sodio para la purificación y de esa manera ser distribuida mediante la red domiciliaria. (Habitat, 2011)

2.3. Calidad del agua

La calidad del agua describe las características químicas, físicas y biológicas del agua, que depende principalmente del uso que se le va a dar, según el RMCH, de clasificación de los cuerpos de agua y sus diferentes usos (Anexo 1).

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

CLASE “D” Aguas de calidad mínima, que para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre-sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Si se tiene una fuente de agua apta para los peces, no quiere decir que sea apta para consumo humano o quizá no ser apta para la natación. Por lo tanto, la calidad de agua califica para un propósito particular, su calidad dependerá en función al uso que se le va dar. (Leon, 2015)

Con frecuencia se utiliza como referencia a un conjunto de normas donde pueda evaluarse el cumplimiento de la calidad de estas aguas y los límites permisibles que se debe cumplir (Anexo 2).

Los parámetros de calidad de agua son:

- Parámetros organolépticos
- Parámetros fisicoquímicos
- Parámetros de metales pesados
- Parámetros microbiológicos

Los estándares más utilizados comúnmente para realizar la evaluación de la calidad del agua están relacionados con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable. (Apaza, 2019) cumpliendo lo indicado en la Norma Boliviana 512

Tabla 2: Parámetros Organolépticos, fisicoquímicos, metales pesados y bacteriológicos para una buena calidad de agua.

CARACTERÍSTICAS	VALOR MAXIMO ACEPTABLE	OBSERVACIONES
PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS		
Salor y olor	Ninguno	Deben ser aceptables
Turbiedad	5 UNT	Unidades nefelométricas de turbidez
Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	
PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS		
Dureza total	500 mg/L CaCO ₃	
pH	9,0	Límite inferior 6,5
Conductividad	1500 µS/cm	
Alcalinidad total	370 mg/L CaCO ₃	El mismo está relacionado con el pH
Sulfatos	400 mg/L	
Cloruros	250,0 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Nitratos	45,0 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
PARÁMETROS DE METALES PESADOS		
Zinc	5,0 mg/L	
Cadmio	0,003 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Plomo	0,01 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Hierro	0,3 mg/L	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el color
Manganeso	0,1 mg/L	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el color
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS		

Coliformes totales	0,0 UFC/MI	< 2 NMP/100 mL
Escherichia Coli	0,0 UFC/MI	< 2 NMP/100 mL

Fuente: Norma Boliviana NB 512

2.4. Parámetros fisicoquímicos

A continuación, veremos algunos conceptos de los parámetros más fundamentales que se realizaron en este proyecto.

2.4.1. Temperatura

Es una medida que determina la temperatura en el que se encuentra el cuerpo de agua, este parámetro es importante ya que influye en los procesos de tratamiento de agua por ejemplo en la desinfección por cloro, en tratamientos por procesos de coagulación – floculación para la formación de tamaño de flóculos, tiene como unidades los grados centígrados. (°C).

2.4.2. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH o la actividad del ion hidrógeno es una medida de acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua, es una de las pruebas más importantes que se realiza frecuentemente para análisis químico de agua. Se encuentra en un rango de 1 al 14 de pH el 7 indica un pH neutro, mayor a 7 indica un pH básico y menor a 7 indica un pH ácido.

El pH puede influir en los procesos de tratamiento de agua como la coagulación y la desinfección, los tratamientos de estas aguas por lo general actúan mejor en medios alcalinos o básicos.

2.4.3. Turbiedad

Es un parámetro utilizado habitualmente para medir la presencia de partículas en suspensión, especialmente coloidales. (arcilla, fragmentos de roca, sustancias del lecho, etc.) producidos por el recorrido de los ríos que van captando aguas residuales domésticas e industriales, se considera una alta turbiedad al líquido que contenga más sólidos en

suspensión, es decir mientras más turbia se encuentra el agua, más alto será la turbidez y menor es su calidad.

2.4.4. Sólidos Totales

Los sólidos disueltos totales (SDT) tienen un contenido de sales, minerales, metales y pequeñas cantidades de materia orgánica e inorgánica que se encuentran disueltos en el agua. Estas aguas provienen de las aguas residuales humanas, industriales y agrícolas. El resultado se reporta en unidades de mg/L.

2.4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Determina la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua a través de un agente químico fuerte. Es una prueba que se complementa con la DBO-5 ya que esta nos mide los microorganismos y la DQO estaría cuantificando toda la demanda realizada por toda la materia orgánica bien sea de naturaleza biodegradable o no biodegradable de los microorganismos.

Es una prueba que se utiliza mucho para el tratamiento de aguas o para el diagnóstico de la calidad de un cuerpo de agua, y una de las ventajas es que se lo puede realizar de manera rápida, las unidades que se utiliza son en mg/L.

2.5. Fuentes de contaminación del agua

Se entiende por contaminación del agua a la alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente (Leon, 2015)

El Alto es una ciudad industrial y genera gran cantidad de aguas con metales, tintes, desechos de fábricas textiles, curtiembres y carnicerías. Esta contaminación afecta gravemente a los principales ríos de la urbe Rio Seco, Rio Seke y Hernani que son importantes fuentes de agua de riego y que ahora también están contaminando el Lago Titicaca, y, por ende, amenazando a varias especies de peces (Buxton & Escobar, 2013)



Figura 3: Contaminación por tipo de fuente de agua

Fuente: Política nacional de la calidad del agua para consumo humano (MMAyA, 2016)

2.5.1. Aguas residuales

Se denomina aguas residuales a las aguas negras que resultan de uso doméstico o industriales, ya que fueron aguas usadas y tienen un contenido de residuos que no sirven para el usuario directo, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado.

Así de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Fuentes de aguas residuales y el tipo de contaminación que genera.

Fuentes de aguas residuales	Componentes típicos
Aguas residuales domesticas	Excrementos humanos (microorganismos patógenos). Nutrientes y materia orgánica. También pueden contener contaminantes emergentes (ej. Productos farmacéuticos)
Aguas residuales municipales	Muy amplia gama de contaminantes, tales como microorganismos, patógenos, nutrientes y materia orgánica, metales pesados y contaminantes emergentes.
Escorrentía urbana	Muy amplia gama de contaminantes, caucho, aceite de motor, metales pesados, basura no degradable/orgánica (especialmente plásticos de carretera) partículas suspendidas, fertilizantes y pesticidas de césped.

Escorrentía agrícola	Microorganismos, patógenos, nutrientes de los fertilizantes aplicados a los suelos, pesticidas e insecticidas derivados de las prácticas agrícolas.
Acuicultura terrestre	Los efluentes de los estanques de asentamiento son típicamente ricos en materia orgánica, sólidos en suspensión (partículas) nutrientes disueltos, metales pesados y contaminantes emergentes.
Aguas residuales industriales	Los contaminantes dependen del tipo de industria
Actividades mineras	El drenaje de relaves, a menudo contienen sólidos en suspensión, alcalinidad. Acidez (necesita ajuste de pH) sales disueltas, cianuro y metales pesados.
Lixiviados de vertedero	Contaminantes orgánicos e inorgánicos, con concentraciones potencialmente altas de metales y químicos orgánicos peligrosos.

Fuente: Basado en el Gobierno de Columbia Británica (Bokova, 2017)

2.5.2. Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas.

El vertido de aguas residuales no tratadas provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas. Una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad de agua dulce (Bokova, 2017). El destino final de las aguas residuales vertidas en ríos y lagos es, el océano. En la Figura 4 se muestran los componentes de aguas residuales y sus efectos.

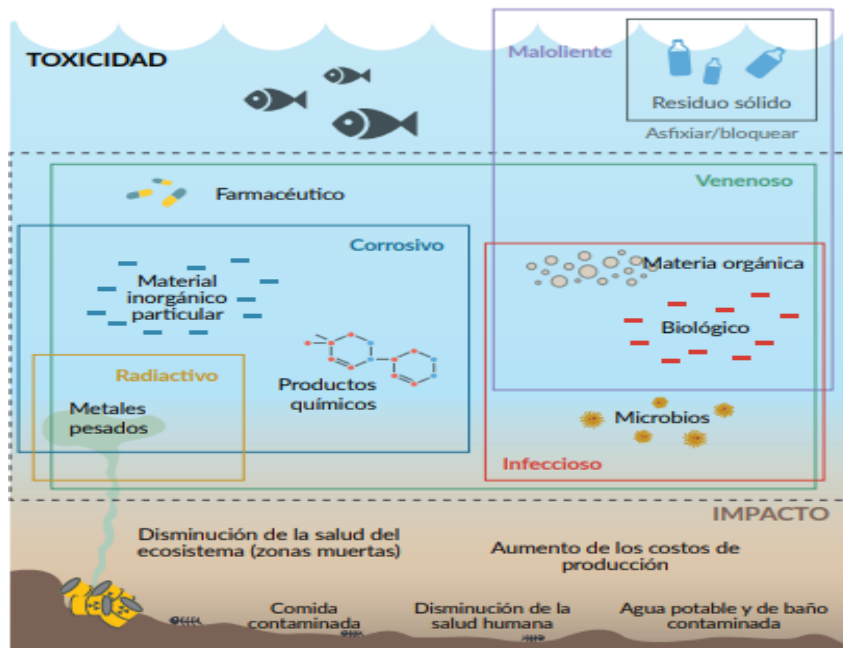


Figura 4: Componentes de aguas residuales y sus efectos.

Fuente: Adaptado de corcoran (Bokova, 2017)

2.6. Principales contaminantes presentes en el agua de río

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar (Vasquez, 2015) en los siguientes cinco grupos:

Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua por las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua

Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno.

Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la

eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

Compuestos orgánicos. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

2.7. Tipos de partículas sólidas en el agua

La turbiedad que tiene el agua es causada por las partículas de materias inorgánicas, en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas.

Los tipos de sólidos en el agua están divididos según el tamaño, entonces a las partículas con tamaños mayores que 0.100 mm se les suele denominar arenas y los virus, arcillas, bacterias tienen un tamaño inferior a 0.001 mm (Suarez & Jacome, 2018)

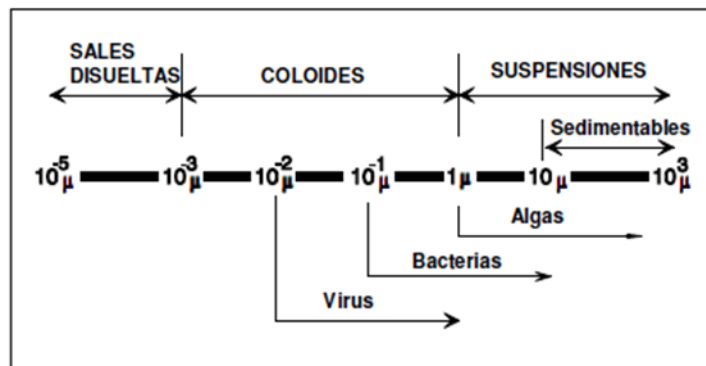


Figura 5: Clasificación e intervalo del tamaño de partículas presentes en el agua.

Fuente: Tratamiento de aguas (Suarez & Jacome, 2018)

2.7.1. Partículas en Suspensión.

Las partículas en suspensión se pueden eliminar mediante sedimentación debido al tamaño que posee, entre un rango de 1 a 1000 μm .

2.7.2. Los Coloides

Son suspensiones que poseen una estabilidad durante largos periodos de tiempo ya que presentan un rango de tamaño entre 10^{-3} hasta 10^{-6} por lo que es imposible su sedimentación natural ya que las fuerzas electrostáticas impiden que se agreguen las partículas por repulsión y el movimiento Browniano mantiene las partículas en suspensión.

Estas sustancias están compuestas por la sílice coloidal, la arcilla, los óxidos metálicos hidratados, las bacterias, las proteínas y son responsables de la turbiedad y del color del agua.

Tabla 4: Tiempos de decantación de las diferentes partículas

Tipo de partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1,1
Grava	10	0,013 s.	0,2 s.
Arena gruesa	1,0	1,266 s.	20,9 s.
Arena fina	0,1	126.66 s.	34.83 min.
Lodo fino	0,01	3,52 h.	58 h.
Bacterias	0,001	14,65 d.	249,1 d.
Coloides	0,0001	4,12 a.	66,59 d.

Fuente: Tratamiento de agua Coagulación – floculación (Yolanda, 2000)

2.8. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los componentes de las aguas residuales.

Pre-tratamiento: Acondiciona el agua residual para facilitar el tratamiento posterior para evitar taponamientos, tiene como objetivo retener los sólidos gruesos y finos con densidad mayor al agua y arenas. Para ello se emplean canales con rejillas gruesas

y finas, ya que son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, y plásticos.

Tratamiento primario: También conocido como tratamiento físico-químico, tiene como objetivo reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, Existen casos en que la materia en suspensión está formada por partículas muy pequeñas que no son capaces de sedimentar fácilmente y es cuando se agregan sustancias químicas que generan la coagulación de estas partículas y favorecen su floculación y sedimentación.

Tratamiento secundario: También conocido como tratamiento biológico, se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, consiste en la oxidación aerobia de la materia orgánica, es un proceso biológico en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos.

Tratamiento terciario: El tratamiento de nivel terciario utiliza técnicas anteriores de ambos tipos. destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Pudiendo lograr que el agua sea apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización. (residuales, 2012)

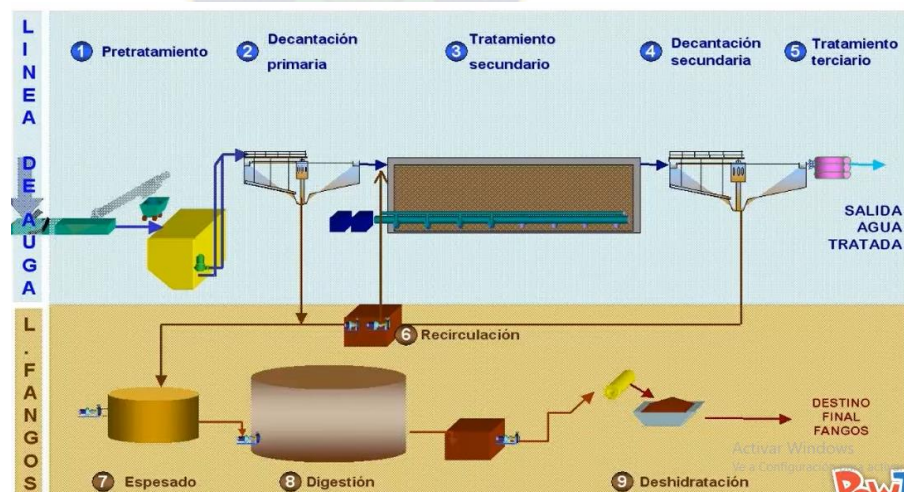


Figura 6: Esquema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Tratamiento y reusó de aguas residuales (residuales, 2012)

La eliminación de contaminantes de las corrientes de aguas residuales se lo realiza para que puedan utilizarse o devolverse de forma segura al ciclo del agua con mínimos impactos ambientales. El uso de aguas residuales tratados (es decir, reutilización del agua) se lo realiza bajo condiciones controladas para fines beneficiosos en primer lugar, para el riego, las tecnologías de tratamiento de aguas residuales han avanzado para permitir que las aguas residuales tratadas tengan otros usos, siempre que el nivel de tratamiento y la calidad del efluente sean “aptos para el fin”. (Bokova, 2017)

2.8.1. Coagulación- Flocculación

Se trata de un tratamiento físico-químico, que consiste en la eliminación de las materias finas en suspensión no decantables, y de las materias coloidales. Estas partículas coloidales se componen de sílice coloidal, arcilla y/o partículas orgánicas las cuales presentan gran estabilidad en el agua con un tamaño comprendido entre 0,001 y 1 μm . Constituyen una parte importante de la contaminación ya que son la causa principal de la turbidez y color del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro. Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y flocculación.

2.8.1.1. Coagulación

La coagulación química consiste en la desestabilización de las partículas coloidales cargadas electrostáticamente mediante la adición de un compuesto químico denominado coagulante. Éste puede ser FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La coagulación está diseñada para la neutralización de las cargas negativas superficiales y permitir que los sólidos suspendidos y coloides se acerquen uno del otro por un fenómeno de absorción en los hidróxidos formados por los coagulantes inyectados. Esto se alcanza introduciendo cargas positivas hidróxidos en este caso el hidróxido de aluminio que es el coagulante seleccionado en forma de sulfato de aluminio. (Rodríguez & Salvador, 2016)

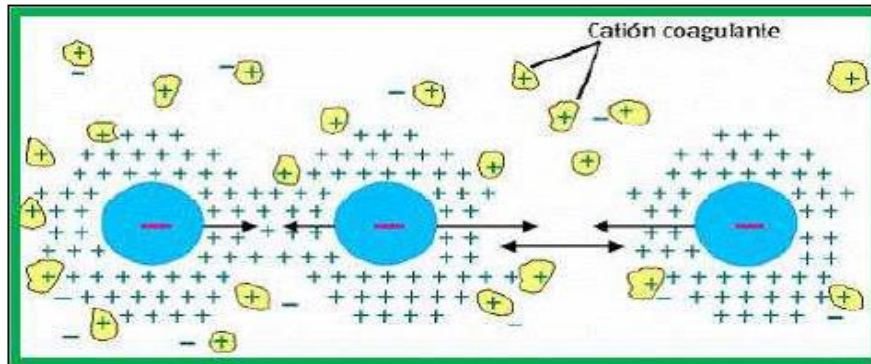


Figura 7: Desestabilización de las cargas en la coagulación.

Fuente: Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación - floculación. (Barajas Garzon & Leon Luque, 2015)

Los coloides (responsables de la turbidez y el color en el agua), generalmente poseen cargas eléctricas negativas y al encontrarse en presencia de partículas pequeñas que poseen su misma carga se presenta una repulsión eléctrica que evita que dichas partículas se aglomeren para formar partículas de mayor tamaño y dar lugar a su sedimentación (Barajas Garzon & Leon Luque, 2015)

Es necesario conseguir una mezcla rápida generando turbulencia por medios mecánicos o hidráulicos para dispersar rápida y uniformemente el coagulante en el agua.

2.8.1.2. Factores que influyen en la coagulación

Influencia del pH: El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada tipo de muestra existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante, para el sulfato de aluminio el rango de pH óptimo se encuentra entre 6,5 – 8.

Influencia de la dosis del coagulante: Es muy importante saber la cantidad de coagulante que se va a utilizar ya que esta afecta de manera directa en la eficiencia de la coagulación, entonces debemos saber que: (Castrillon Bedoya & Giraldo, 2012)

1. Estado de Valencia: Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
2. Capacidad de cambio: Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
3. Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de flóculos, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el flóculos.
4. Temperatura: La temperatura cambia el tiempo de formación del flóculos, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del flóculos es mayor.
5. Concentración de iones H^+ o pH: Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
6. Relación cantidad-tiempo: La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del flóculos.
7. Alcalinidad: La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

2.8.1.3. **Floculación**

La floculación es un proceso químico que consiste en adicionar primeramente un coagulante para neutralizar las cargas del coloide y romper su estabilidad entonces una

vez desestabilizados los coloides por la neutralización de sus cargas se da lugar a la formación de partículas de mayor tamaño denominado flóculo.

La formación de los flóculos es causada por la colisión de partículas descargadas entre si ya que cuando se acercan lo suficiente las fuerzas de Van der Waals predominan bajo la fuerza de repulsión, debido a que se tiene una reducción en las cargas eléctricas, como consecuencia se da una disminución de repulsión eléctrica, causando la formación de flóculos.

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

2.8.1.4. Factores que influyen en la floculación

Por movimiento térmico o browniano (floculación peri cinética): Es un movimiento asociado a la temperatura de las partículas que las hace desplazarse, de forma muy lenta, aleatoriamente a través del fluido.

Por sedimentación diferencial: Las partículas que se encuentran alineadas verticalmente que sedimentan a diferente velocidad, colisionan formando un flóculo más grande. Este arrastre de partículas se da sobre todo en la sedimentación y flotación de fangos.

Por movimiento del fluido (floculación orto cinética): Mediante una agitación suave que no rompa el flóculo, las partículas son arrastradas por el movimiento del fluido, el cual genera choques entre las partículas y va formando flóculos de mayor tamaño. (Castrillon Bedoya & Giraldo, 2012)

2.8.2. Sedimentación

Se entiende por sedimentación a la separación sólido – líquido de las partículas que se encuentran en suspensión van cayendo por efecto gravitacional en un determinado

intervalo de tiempo, pero hay que tener en cuenta que no todas las partículas en suspensión sedimentan ya que el valor mínimo de tamaño debe estar en un rango de 1 – 10 micras.

Cuando se trata de suspensiones tipo coloidales se debe proceder a un tratamiento por floculación o coagulación de las partículas anteriormente para que ocurra una sedimentación. La sedimentación se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que las partículas sólidas sedimenten, depositándose en el fondo de donde son eliminadas en forma de lodos.

2.9. Coagulantes

Los coagulantes son aquellos compuestos capaces de formar flóculos al ser añadidos a las aguas residuales.

Los productos químicos que se utilizan con mayor frecuencia en la coagulación son alúmina (sulfato de aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. Siendo la alúmina el coagulante de uso más extenso, ya que es un coagulante muy efectivo y con una disponibilidad de bajo costo.

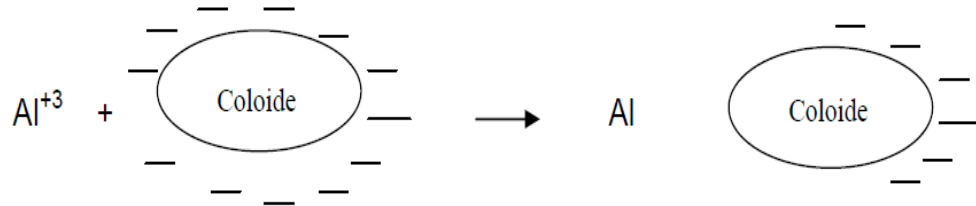
2.9.1. El sulfato de aluminio

Usado muy habitualmente en tratamientos de aguas. Este producto comercial tiene como fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico.



El material es empacado en diversas formas: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida. El sulfato de aluminio ha estado disponible en todo el mundo con un costo razonable porque ha sido fácil de producir incluso en fábricas muy sencillas.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+3} y SO_4^{-2} . El Al^{+3} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal,



El Al^{+3} puede también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.

El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible.

Durante la floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocs hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación el floc se asienta para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar floc de hidróxido de aluminio.

2.10. Ensayo de jarras

La prueba de jarras es la principal prueba de laboratorio para la determinación de la dosis apropiada de un coagulante que se debe suministrar al agua a tratar para optimizar el proceso de clarificación. Este análisis básicamente es la simulación de los procesos de coagulación, floculación a nivel de laboratorio y sedimentación con diferentes dosis de coagulante; la determinación para conocer cuál es la dosis óptima se hace por comparación visual y se escoge la muestra en la cual se puedan ver los flóculos de mayor tamaño. (Leon, 2015)

Es necesario utilizar equipos donde pueda radicar el uso de una serie de jarras al mismo tiempo y que también tenga la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm) para este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

- pH
- Temperatura
- Concentración de coagulante
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- Grado de mezcla en revoluciones por minuto (rpm)
- Tiempo de sedimentación

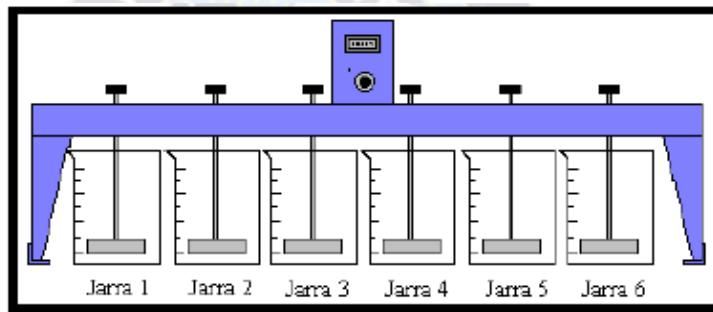


Figura 8: Equipo para prueba de jarras

Fuente: Aplicación de un coagulante natural (Leon, 2015)

2.10.1. Procedimientos para llevar una prueba de jarras.

- Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran, los resultados obtenidos con muestras añejas no son representativos.

- Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.

- La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta o en el caso de la clarificación a nivel domiciliario. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.

- Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba.

2.10.2. Criterios para la evaluación

Para evaluar los resultados de una prueba de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo a su larga experiencia, pero bajo la convicción que le da la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos (Castrillon Bedoya & Giraldo, 2012)

No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos

Calidad del sobrenadante: La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de una prueba de jarras, ya que es lo que se persigue en la clarificación del agua. Para ello se mide la turbiedad final del agua.



CAPÍTULO

III

3. Metodología experimental

3.1. Ubicación del área de estudio y recolección de la muestra

La Ciudad de El Alto es la cuarta sección de la provincia Murillo del departamento de La Paz, ubicado al oeste del país en la meseta altiplánica, a una altura de 4150 m.s.n.m. a $16^{\circ} 30''$ de latitud sur y $68^{\circ} 12''$ longitud Oeste a orillas de la Hoyada Paceña, limita al este con la Ciudad de la Paz, al oeste con Laja, al norte con Zongo y al sur con Viacha.

El área de estudio se encuentra ubicada en la Comunidad de Tacachira que forma parte del distrito 11 de la Ciudad de El Alto con una temperatura de 8.2°C , a una distancia de 14,77 km y un tiempo de 90 minutos partiendo desde la Ceja de El Alto. Este distrito está conformado por dos comunidades Tacachira y Ocomisto aledaños hacia la carretera a Laja.

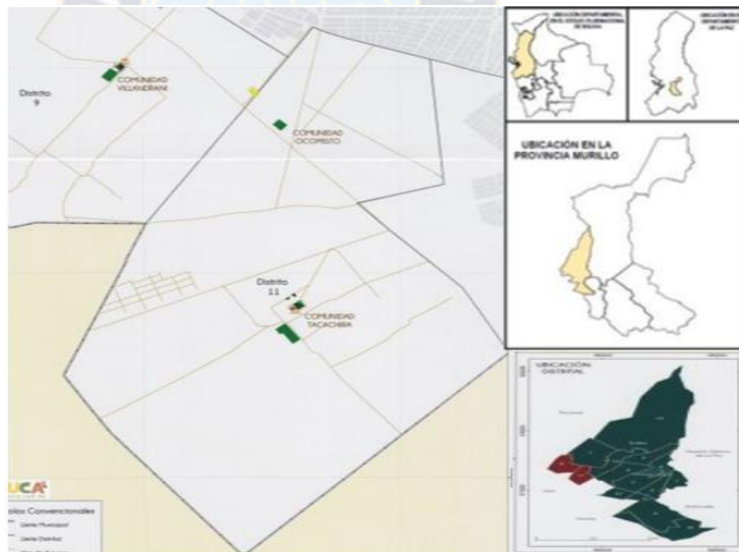


Figura 9: Ubicación de la comunidad de Tacachira en la Ciudad de El Alto

Fuente: Gobierno municipal de la Ciudad de El Alto (GAMEA)



Figura 10: Ubicación de la Comunidad de Tacachira vista satelital.

Fuente: Elaboración propia por Google Maps

3.1.1. Recolección de la muestra de agua

La recolección de muestra de aguas del Río Seke, se realizó utilizando la NB 496 (Anexo 3).

Tratamiento del material de muestreo. - La recolección de muestra de aguas del Río Seke, se realizó en galones de polietileno de alta densidad con un volumen de 5 litros, los galones fueron previamente lavados con un detergente liquido especial llamado mucasol que está libre de fosforo y metales pesados. Antes de la toma de muestra de agua, el galón se enjuago 3 veces con la misma agua del río, se sumergió el galón a una profundidad de unos 20 cm y se tomó la muestra a contracorriente del río.

Toma de muestras. - El volumen colectado fue de 20 litros para la prueba de jarras y para análisis fisicoquímicos. Seguidamente se codificó los galones de muestreo (anotar la fecha, hora y el código de la muestra correspondiente).



Figura 11: Lavado del galón de plástico para el muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 12: Toma de muestra de agua del Río Seke

Fuente: Elaboración Propia

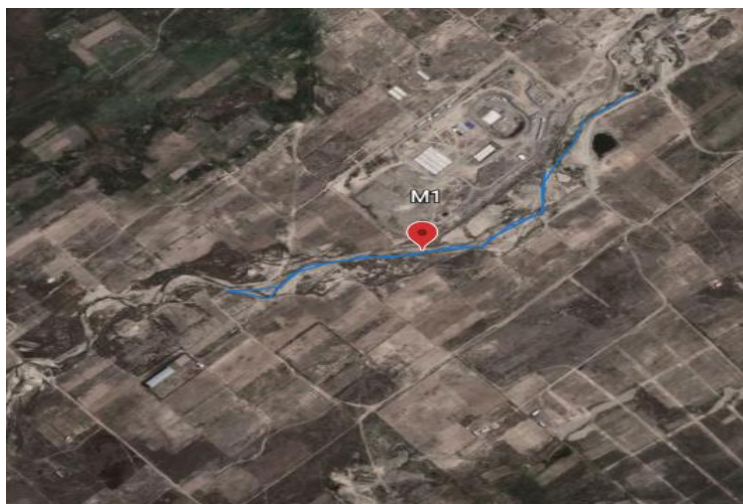


Figura 13: Ubicación del punto de muestreo vista satelital

Fuente: Elaboración propia por Google Maps

Las muestras de aguas fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) para sus respectivos análisis y preservación de la muestra a 4° C en el cuarto frío.

Los parámetros medidos *in situ* en campo y las características del punto de muestreo se observa en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos de la muestra, tomados en campo

Código	Fecha	Hora de muestreo	Coordenadas		Parámetros <i>in situ</i>		
			Latitud	Longitud	Oxígeno disuelto mg/L	pH	T °C
M1	03/02/21	11:30 am	-16,5341007	-68,2769601	6,14	7,78	17,6

Fuente: elaboración propia

3.2. Conservación de las muestras

Inmediatamente las muestras de aguas fueron conservadas a una temperatura de 4 °C, esto para reducir al máximo la posible biodegradación entre la muestra de agua y los análisis en laboratorio.

El método de conservación es para retardar a que los microorganismos proliferen en la muestra de agua y también ayudan al retraso de una hidrólisis de los compuestos químicos. Indica el método normalizado (SMW) Standard Methods for the examination of Water and Wasterwater.

Tabla 6: Preservación de las muestras de agua.

ANALITO	PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS
Sólidos Totales	Refrigeración	7 días.
DQO	Adicionar H_2SO_4 a pH < 2	7 días a 28 días
Turbidez	Refrigeración	24 hrs / 48 hrs
pH	Inmediatamente	Inmediatamente
Temperatura	Inmediatamente	Inmediatamente
Conductividad	Refrigeración	28 días

Fuente: SMW, 1998

3.3. Parámetros y métodos de análisis

Tabla 7: Parámetros y métodos a utilizar

TIPOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	MÉTODO
FISICOQUÍMICOS	Sólidos totales (mg/L)	EPA 160.3
	DQO (mg/L)	SM 5220-C
	Turbidez (UNT)	EPA 180.1
	pH	EPA 150.1
	Conductividad (μ S/cm)	EPA 120.1

Fuente: Métodos Estándar (SM) (para el análisis de aguas y aguas residuales) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (métodos para el análisis de aguas)

3.4. Lugar de estudio de los análisis

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) en el Instituto de Ecología de la UMSA.



Figura 14: Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA)

3.5. Metodología

El método que se realizó en este trabajo para el tratamiento de aguas del Río Seke de la comunidad de Tacachira, se presenta en el diagrama de flujo.

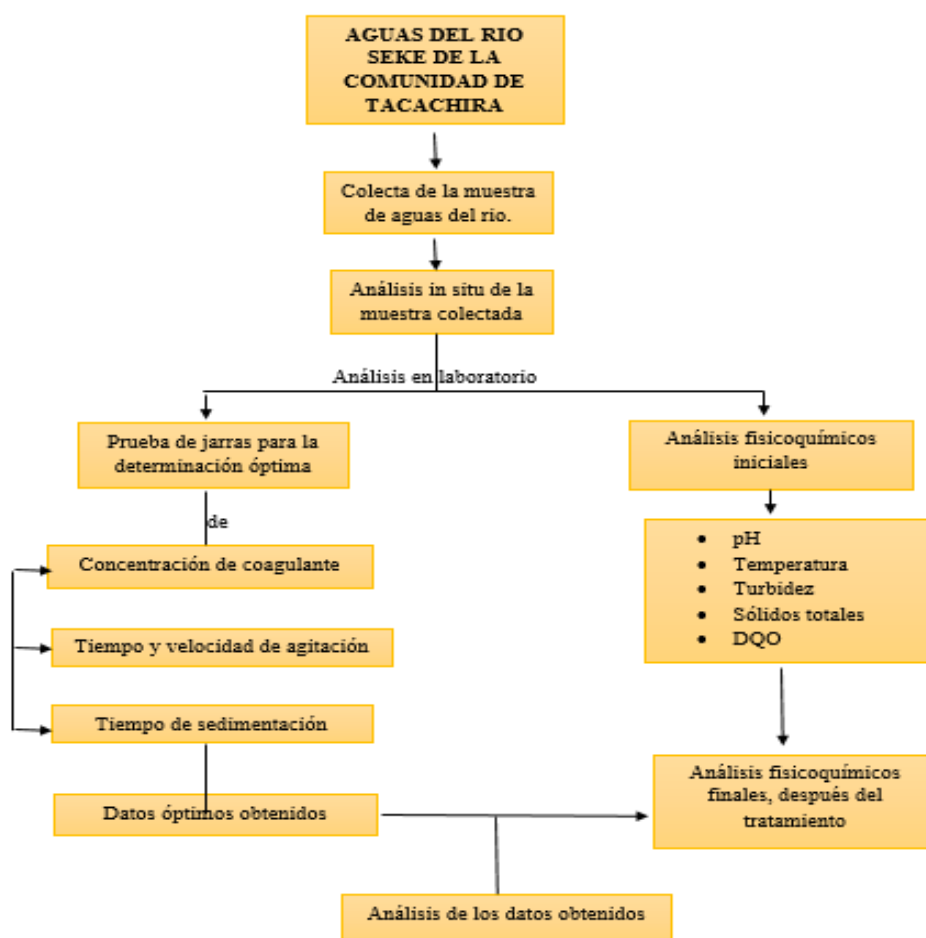


Figura 15: Diagrama de flujo

3.6. Descripción de la metodología

El procedimiento consistió en tomar una muestra de 20 litros de agua del Río Seke de la comunidad de Tacachira, con el objetivo de realizar un tratamiento a condiciones óptimas mediante el test de jarras.

3.6.1. Equipo de prueba de jarras

El equipo para la prueba de jarras que se utilizó en laboratorio, corresponde al modelo PHIPPS & BIRD y es un equipo que se utiliza comúnmente para este tipo de pruebas.

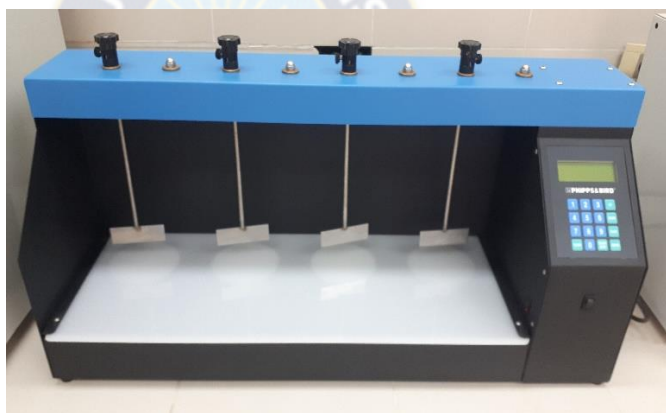


Figura 16: Equipo de prueba de jarras que se utilizó.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Determinación para las condiciones óptimas de tratamiento

Para obtener las condiciones óptimas de tratamiento se realizó varios ensayos de prueba de jarras, como primer parámetro importante, se determinó las concentraciones óptimas de coagulante ya que este parámetro depende de la calidad de la muestra de agua. Seguidamente se determinó el parámetro del tiempo y la velocidad óptima de floculación y finalmente el tiempo de sedimentación óptimo.

3.6.2.1. Determinación de la concentración óptima de coagulante

Se realizó 6 pruebas de ensayos de jarras, en donde se varió las concentraciones de solución del coagulante añadidos a cada vaso de precipitado, hasta hallar la concentración óptima.

- **Preparación de soluciones**

Preparación de solución del coagulante (solución madre A)

Se realiza el cálculo para la preparación de una solución madre de Sulfato de Aluminio granulado tipo B al 10% para un volumen de 250 ml donde aplicaremos la ecuación de la concentración representada en porcentaje:

$$\%C = \frac{\text{solute (g)}}{\text{Disolvente (g)}} * 100\%$$

$$10\% = \frac{\text{solute (g)}}{250\text{ g}} * 100\%$$

$$\frac{10\%}{100\%} = \frac{\text{solute g}}{250\text{ g}}$$

$$0,1 = \frac{\text{solute g}}{250\text{ g}}$$

La cantidad en masa de la sal que se requiere para preparar la solución A es de:

25 g de $Al_2(SO_4)_3$

$$\frac{25\text{g}}{250\text{ mL}} \times \frac{1000\text{ mg}}{1\text{g}} \times \frac{1000\text{ mL}}{1\text{L}} = 100\ 000\ \text{mg/L}$$

Equivalente a una concentración de 100000 ppm

Preparación de solución B al 1% a partir de la solución madre (sol. A)

(1% = 10000 ppm)

$$C_i * V_i = C_f * V_f$$

$$V_i = \frac{C_f * V_f}{C_i}$$

$$V_i = \frac{10000 \text{ ppm} * 100 \text{ mL}}{1000000 \text{ ppm}} = 10 \text{ ml de } Al_2(SO_4)_3$$

Preparación de soluciones diluidas.

Cálculo para el volumen de alícuota que se debe tomar de la solución B, para la preparación de soluciones diluidas a un volumen de 500 ml para diferentes concentraciones de $Al_2(SO_4)_3$ utilizando la siguiente ecuación:

$$C_i * V_i = C_f * V_f$$

Donde:

C_i = Concentración de la solución de sulfato de aluminio inicial

V_i = Volumen de sulfato de aluminio a dosificar

C_f = Concentración de sulfato de aluminio deseado

V_f = Volumen de agua a analizar

Ejemplo: Calculamos la alícuota que se necesita de la solución B para la concentración de 20 ppm (ver tabla 8)

$$C_i * V_i = C_f * V_f$$

$$V_i = \frac{C_f * V_f}{C_i}$$

$$V_i = \frac{20 \text{ ppm} * 500 \text{ mL}}{10000 \text{ ppm}} = 1 \text{ ml de } Al_2(SO_4)_3$$

Tabla 8: Volumen de alícuota para la concentración de coagulante rango 0-80 mg/L

Jarra N°	Concentración $Al_2(SO_4)_3$ ppm	$V_{\text{Alícuota}}$ ml
1	0	0
2	20	1
3	40	2
4	60	3
5	80	4

Fuente: elaboración propia

3.6.2.2. Ensayo para la prueba de jarras

Inicialmente se determinó los parámetros de sólidos disueltos totales, conductividad, DQO, pH, y Turbidez de la muestra de agua.

Posteriormente se preparó 4 vasos de precipitado de un volumen de 500 ml, previamente lavados para evitar cualquier tipo de interferencias, se debe agitar la muestra con el fin de uniformizarlas partículas suspendidas, seguidamente a cada vaso se colocó 500 ml de la muestra con ayuda de una probeta.

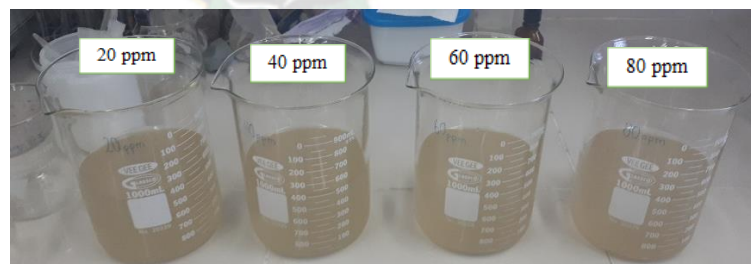


Figura 17: Vasos precipitados, con muestra de agua para diferente concentración de coagulante.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el dato de pH inicial, se verifica que se encuentre en un rango de 6.5 a 8 caso contrario se realizó un ajuste de pH.

Preparamos cada jeringa tomando el volumen de alícuota que se calculó de la solución madre del coagulante (Sol. B) para añadir a cada vaso de precipitado. (ver tabla 8)

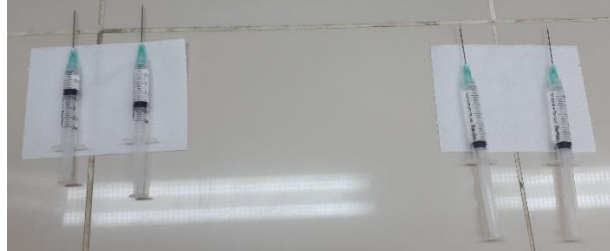


Figura 18: Jeringas con diferentes volúmenes de coagulante para cada Jarra.

Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los vasos fueron llevados al equipo de jarras, colocando las paletas de manera adecuada, y a lado de cada vaso se coloca las jeringas con su respectiva dosis de coagulante. Se adicionaron las dosis correspondientes de coagulante a cada vaso de manera cuidadosa y rápida a cada vaso, y rápidamente prendemos el equipo a una velocidad de agitación rápida de 100 rpm por un minuto.



Figura 19: Mezcla de agitación lenta después de la aplicación del coagulante.

Fuente: Elaboración propia.

Transcurrido ese tiempo se disminuyó la velocidad de agitación a 30 rpm por un tiempo de veinte minutos, una vez terminado el tiempo de floculación se apaga el equipo y se deja en sedimentación por un tiempo de veinte minutos en conos de sedimentación Imhoff.

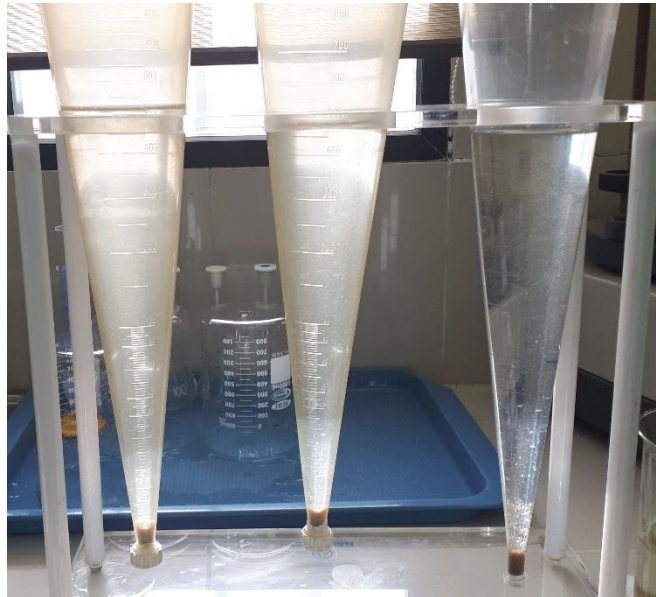


Figura 20: Conos de sedimentación Imhoff

Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado la sedimentación se toma 50 ml de muestra tratada con la ayuda de una pipeta aforada de 50 ml y se lo trasvaso a tubos falcón con mucho cuidado.

Las muestras de agua tratadas fueron analizadas para su control de calidad como ser: la Turbidez, conductividad, DQO y el pH.

Para la selección de la concentración óptima se evaluaron los resultados de Turbidez inicial y final tomando en cuenta como resultado la menor cantidad de turbidez obtenida en las diferentes pruebas de jarras que se realizó.

Según bibliografía del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) la agitación rápida debe ser de 100 rpm. Ya que a esta velocidad existe

una buena dispersión del coagulante en el agua y así poder obtener un proceso de buena calidad de clarificado de agua. (Anexo 4)

Para ello se realizó 6 ensayos de pruebas de jarras que consiste de la siguiente manera:

Tabla 9: Prueba de jarras realizadas, con diferentes variables.

Prueba de jarras N°	Dosis de coagulante ppm (mg/L)				Velocidad de agitación rápida (rpm)	Tiempo (min)	Velocidad de agitación lenta (rpm)	Tiempo (min)	Tiempo de sedimentación (min)
1	20	40	60	80	100	1	40	20	20
2	20	40	60	80	100	1	30	20	20
3	20	40	60	80	100	1	20	20	20
4	20	40	60	80	100	7	0	0	20
5	20	40	60	80	100	5	0	0	20
6	20	40	60	80	100	3	0	0	20

Fuente: Elaboración propia

De esta manera podremos observar el comportamiento que tiene el coagulante al momento de ser aplicado a cada jarra y saber si existe alguna diferencia en el tiempo de dispersión del coagulante y la velocidad de agitación lenta.

3.6.3. Análisis fisicoquímicos antes y después del tratamiento

Encontrado las variables importantes de estudio de la dosis óptima para nuestro tratamiento de aguas, se realizaron los análisis fisicoquímicos antes y después del tratamiento con el coagulante de sulfato de aluminio, si bien en la prueba de jarras se tuvo como prioridad medir la turbiedad y el pH, ahora realizamos los siguientes análisis fisicoquímicos para la determinación de la clase de agua que se ha obtenido.

3.6.3.1. Determinaciones fisicoquímicas en laboratorio

Turbidez:

El procedimiento para la lectura de turbidez se describe a continuación:

- Para determinar la turbidez de la muestra, se lee primero el blanco

- Agitar suavemente la muestra. Esperar hasta que desaparezcan las burbujas de aire y colocar la muestra en la celda. Leer la turbiedad directamente en el equipo
- Restar el blanco a la turbidez de las muestras.



Figura 21: Determinación de Turbidez (Turbidimeter AL 1000)

Fuente: Elaboración propia

Potencial de hidrogeno (pH)

Para la lectura del pH se utilizó el método electrométrico, el procedimiento se describe a continuación:

- Calibrar el potenciómetro con soluciones Buffer de 4, 7 y 10, para luego poder tener un pH exacto de las muestras.
- Trasvasar las muestras a un vaso de precipitados
- Las muestras deben estar a temperatura ambiente.
- Leer con el Potenciómetro de marca Mettler Totelo



Figura 22: Determinación del pH

Fuente: Elaboración propia

Conductividad

Para la lectura de conductividad en la muestra de agua se realizó en laboratorio aplicando el método ASPT 6 (Método Electrométrico) que tiene como unidades $\mu\text{S}/\text{cm}$

- Se utilizó 100 mL de muestra colectada de agua en un vaso precipitado de 250 mL y se realiza la lectura.
- Leer con el conductímetro marca WTW modelo multi 350i.



Figura 23: Determinación de la conductividad.

Fuente: elaboración propia

Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales se determinaron por el método EPA 160.3 (método gravimétrico) y se mide en unidades de mg/L. El procedimiento se detalla a continuación:

- Pesar las cápsulas de cerámica.
- Medir 50 ml de muestra y trasvasarlo a las cápsulas.
- Dejar las cápsulas en baño María hasta que las cápsulas estén secas.
- Llevar a estufa a 105°C hasta peso constante.
- Enfriar en el desecador.
- Pesar las cápsulas.



Figura 24: Evaporación baño maría y capsulas para evaporación del líquido

Fuente: Elaboración propia

Demanda química de oxígeno (DQO)

Para el análisis de la demanda química de oxígeno se utilizó el método SM 5220-C (Método titulométrico). El procedimiento se describe a continuación:

- Medir 2,5 ml de muestra filtrada y ponerlos en tubos de 10 ml.
- Añadir 1,5 ml de reactivo de dicromato de potasio 0,2085 N (sulfato de mercurio, dicromato de potasio y ácido sulfúrico).
- Agregar 3,5 ml de sulfato de plata al 1%.

- Digerir durante 2 horas a 150 °C.
- Añadir 2 gotas de indicador
- Valorar con sulfato ferroso 0,025 N.

La reacción que se lleva a cabo en la determinación de DQO es:

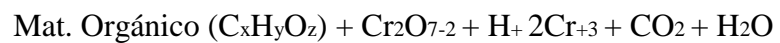


Figura 25: Preparación de la muestra para la digestión de DQO a 150 °C

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusiones

4.1. Determinación de la concentración de coagulante óptimo.

Para la determinación de la concentración de coagulante en cada prueba de Jarras, se determinó la turbidez, que nos indica que dosis fue la más adecuada.

Tabla 10: Prueba de jarras N° 1

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Tiempo min.	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	20	100	1	20	20	55	9,7
2	40	100	1	20	20	55	8,2
3	60	100	1	20	20	55	7,9
4	80	100	1	20	20	55	6,8

Fuente: Elaboración propia

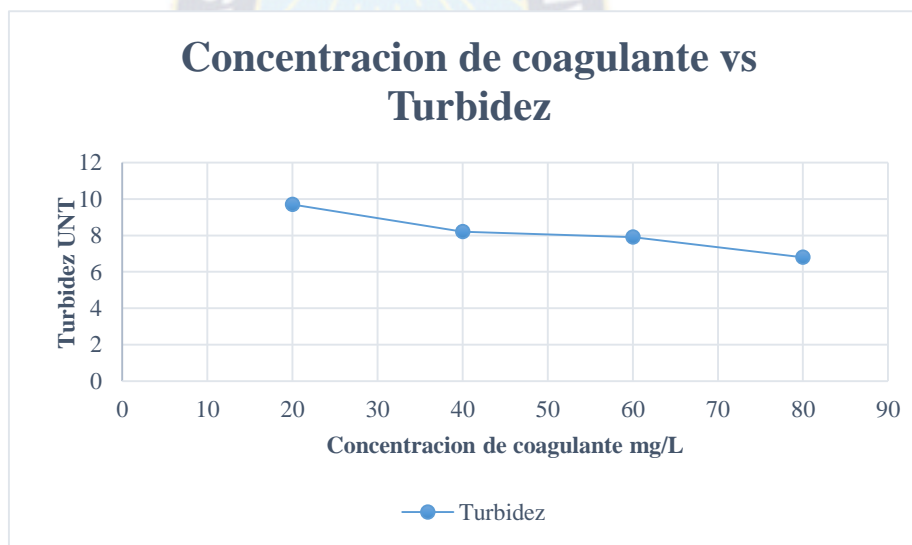


Figura 26: Concentración de coagulante vs Turbidez prueba de jarra N° 1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°1 donde se realizó una modificación en la velocidad de agitación lenta que fue de 20 rpm y en la figura 26 se observa una gráfica donde la concentración óptima es de 80 ppm (mg/L) con una remoción de turbidez de 6,8 UNT.

Tabla 11: Prueba de jarras N° 2

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Tiempo min.	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	20	100	1	30	20	55	6,7
2	40	100	1	30	20	55	3,9
3	60	100	1	30	20	55	2,3
4	80	100	1	30	20	55	1,4

Fuente: Elaboración propia

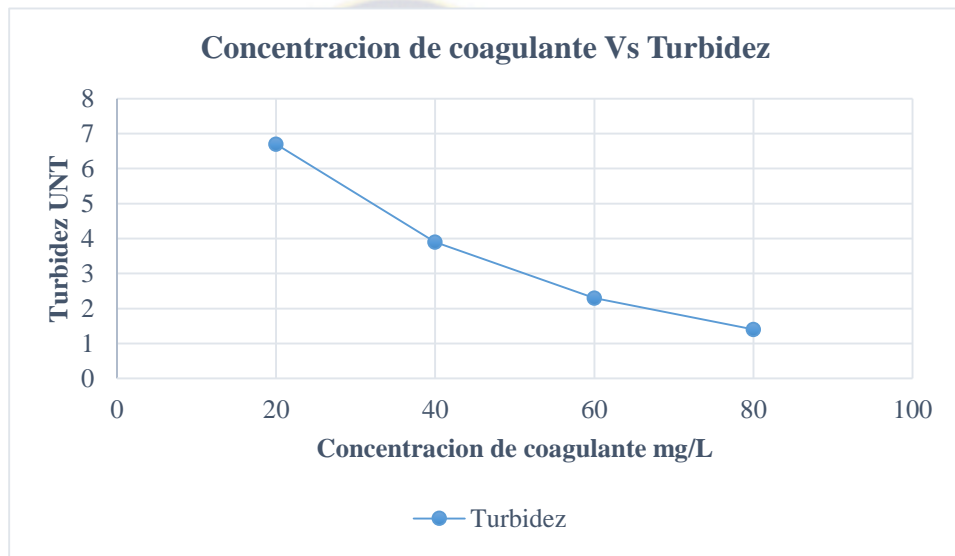


Figura 27: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N° 2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°2 donde se realizó una modificación en la velocidad de agitación lenta que fue de 30 rpm y en la figura 27 se observa una gráfica donde la concentración óptima es de 80 ppm (mg/L) con una remoción de turbidez de 1,4 UNT.

Tabla 12: Prueba de jarras N°3

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Tiempo min.	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	20	100	1	40	20	55	7,1
2	40	100	1	40	20	55	4,3
3	60	100	1	40	20	55	4,1
4	80	100	1	40	20	55	2,3

Fuente: Elaboración propia

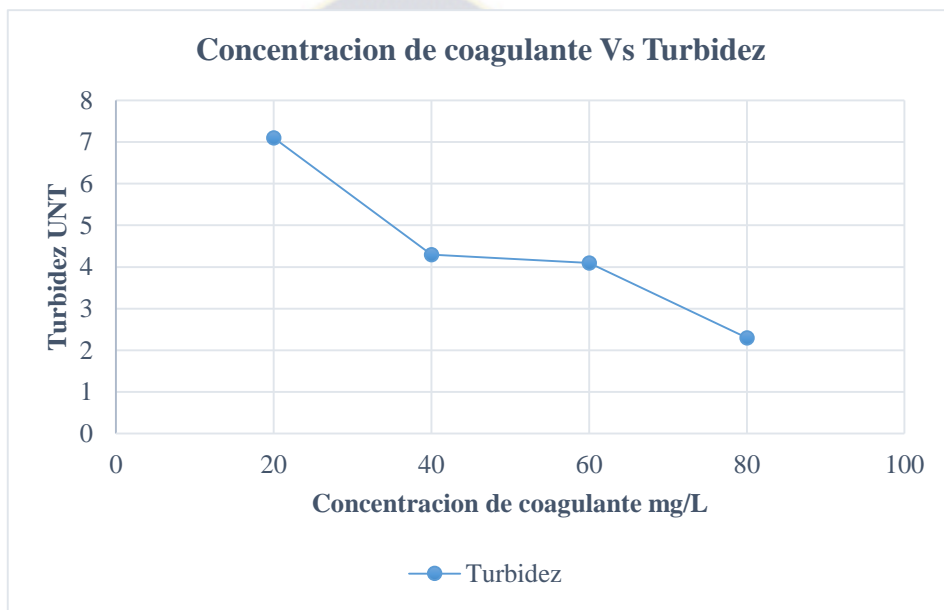


Figura 28: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°3 donde se realizó una modificación en la velocidad de agitación lenta que fue de 40 rpm y en la figura 28 se observa una gráfica donde la concentración óptima es de 80 ppm (mg/L) con una remoción de turbidez de 2.3 UNT.

Tabla 13: Prueba de jarras N°4

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	20	100	7	0	55	3,7
2	40	100	7	0	55	3,1
3	60	100	7	0	55	2,2
4	80	100	7	0	55	1,8

Fuente: Elaboración propia

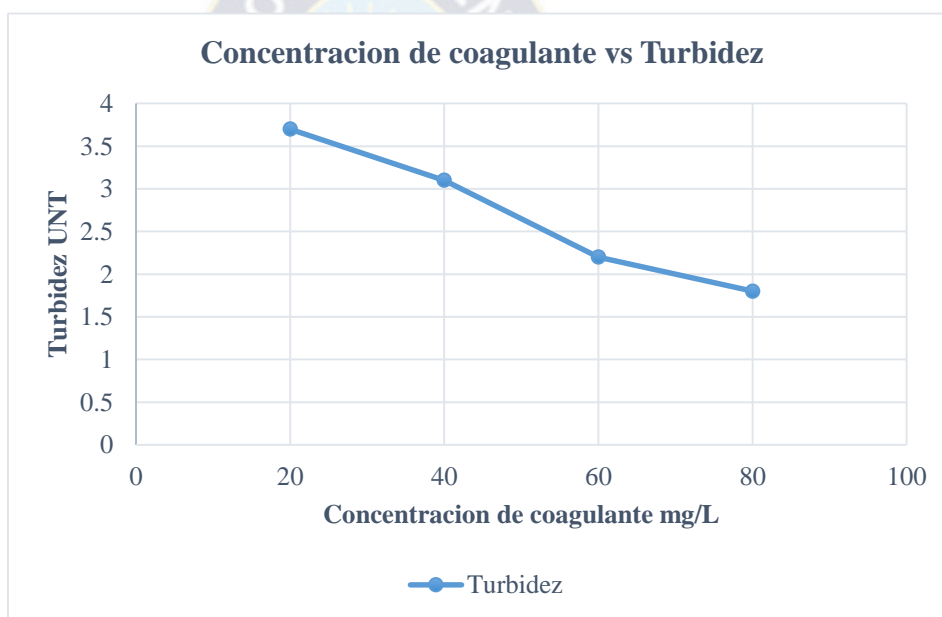


Figura 29: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°4 donde se realizó una modificación en el tiempo de velocidad de agitación rápida, es decir en el tiempo de dispersión del coagulante en contacto con la muestra de agua a tratar, el tiempo que se le dio fue de 7 minutos y en la figura 29, se observa una gráfica donde la concentración óptima es de 80 ppm (mg/L) con una remoción significativa de turbidez de 1,8 UNT.

Tabla 14: Prueba de jarra N°5

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Turb _i (NTU)	Turb _f (NTU)
1	20	100	5	0	55	1,24
2	40	100	5	0	55	0,85
3	60	100	5	0	55	0,68
4	80	100	5	0	55	0,61

Fuente: Elaboración propia

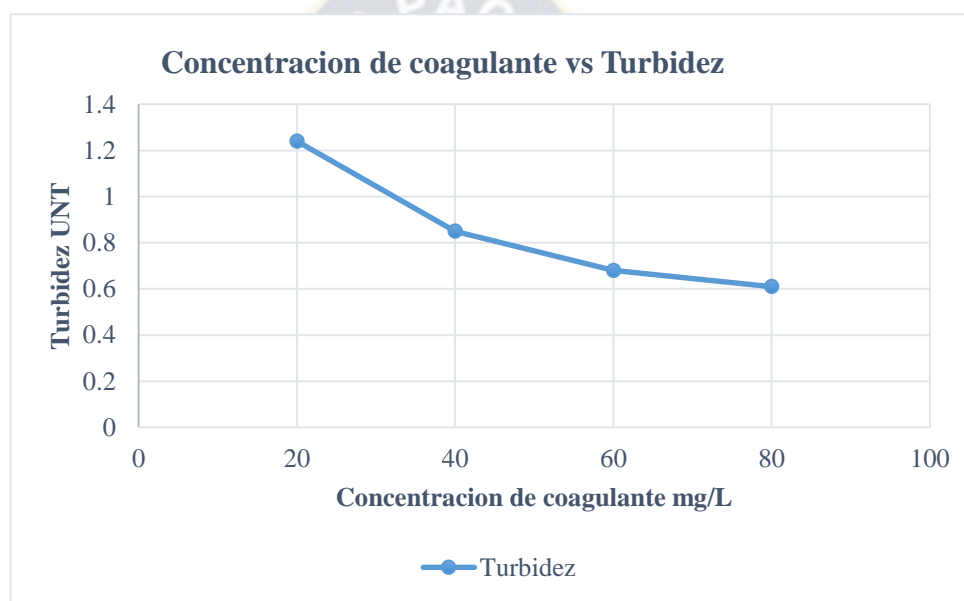


Figura 30: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°5 donde se realizó una modificación en el tiempo de velocidad de agitación rápida, es decir en el tiempo de dispersión del coagulante en contacto con la muestra de agua a tratar, el tiempo que se le dio fue de 5 minutos y en la figura 30, se observa una gráfica donde la concentración óptima de 80 ppm (mg/L) con una remoción significativa de turbidez de 0,61 UNT.

Tabla 15: Prueba de jarras N°6

Jarra N°	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Velocidad de agitación lenta rpm	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	20	100	3	0	55	7,1
2	40	100	3	0	55	4,9
3	60	100	3	0	55	3,2
4	80	100	3	0	55	2,4

Fuente: Elaboración propia

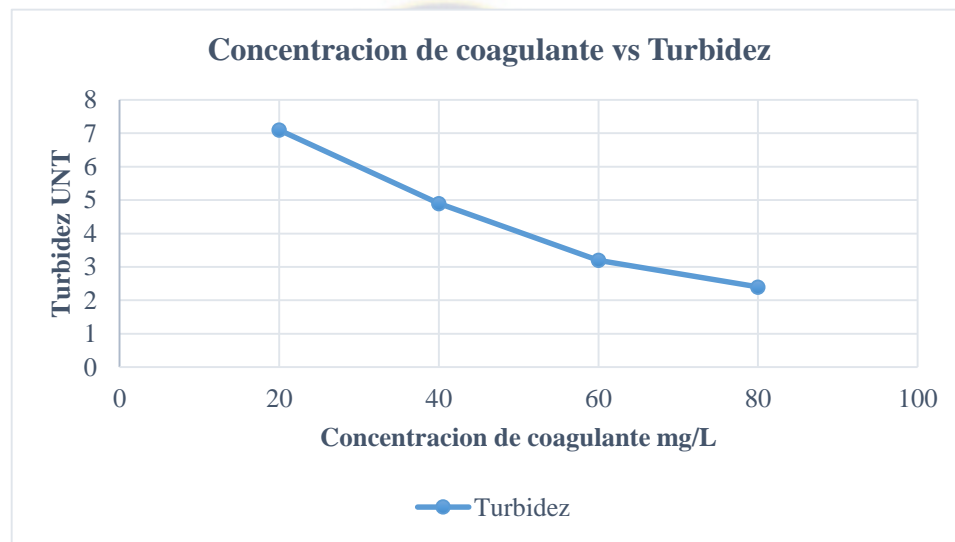


Figura 31: Concentración de coagulante vs Turbidez jarra N°6

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 15 se muestra los datos y resultados obtenidos de la prueba de jarras N°6 donde se realizó una modificación en el tiempo de velocidad de agitación rápida, es decir en el tiempo de dispersión del coagulante en contacto con la muestra de agua a tratar, el tiempo que se dio fue de 3 minutos y en la figura 31, se observa una gráfica donde la concentración óptima es de 80 ppm (mg/L) con una remoción significativa de turbidez de 2,4 UNT.

En las pruebas de jarras N° 1,2 y 3 se puede apreciar el tipo de tratamiento que se dio a la muestra de agua a tratar, a una velocidad de agitación rápida de 100 rpm con un tiempo de dispersión del coagulante de 1 minuto, pasado ese tiempo se realizó una variación reduciendo la velocidad de agitación lenta a 20, 30 y 40 rpm por un tiempo de 20 minutos,

En las pruebas de jarras N° 4,5 y 6 se procedió de la misma forma que la anterior prueba, pero se hizo una variación en el tiempo de velocidad de agitación rápida que fue de 7, 5 y 3 minutos, existiendo una remoción de turbidez significativa en comparación de las pruebas de jarras N° 1, 2 y 3.

Tabla 16: Datos de concentración óptima de coagulante y turbidez final

Prueba de jarras N°	Dosis de coagulante (mg/L)	Turb _f (NTU)
1	80	6,8
2	80	1,4
3	80	2,3
4	80	1,8
5	80	0,61
6	80	2,4

Fuente: Elaboración propia

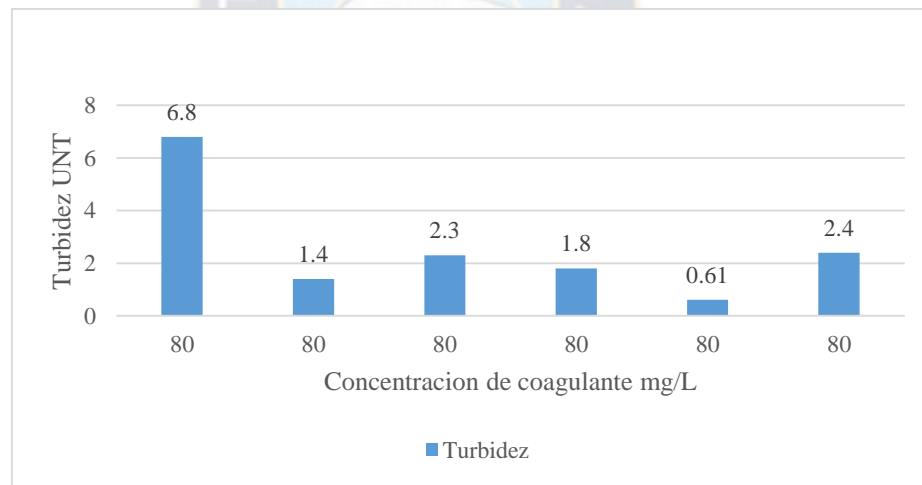


Figura 32: Concentración óptima de coagulante vs turbidez

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se muestra los resultados de turbidez obtenidos de cada prueba de jarras, realizando una comparación con el mejor dato de remoción de turbidez de cada prueba realizada. En la figura 32, podemos observar que la concentración óptima de coagulante es de 80 ppm y el mejor tratamiento dado fue la prueba de jarras N° 5 con una remoción de turbidez de 0,61 UNT.

4.2. Determinación del tiempo de sedimentación óptima

Se debe considerar como otro factor importante el tiempo de sedimentación, es por ello que se realiza variaciones de tiempo entre 20 a 30 minutos.

Esta prueba se lo realiza teniendo ya la dosis óptima de coagulante y la velocidad óptima de agitación lenta constante.

Se fue variando el tiempo de sedimentación de 20, 25 y 30 minutos, aplicando diferentes velocidades de agitación lenta, con la ayuda de un cronometro.

Tabla 17: Variación del tiempo para una sedimentación óptima

Jarra N°	Dosis mg/L	Tiempo de sedimentación en (min)	Turb _i (UNT)	Turb _f (UNT)
1	80	20	55	1,4
2	80	25	55	1,9
3	80	30	55	2,1
4	80	20	55	0,61
5	80	25	55	0,78
6	80	30	55	1,2

Fuente: Elaboración propia

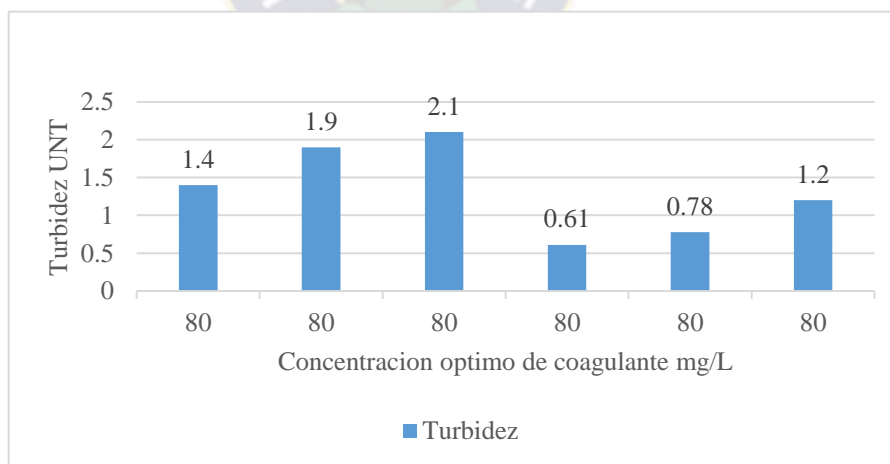


Figura 33: Tiempo de sedimentación óptimo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos con el tiempo óptimo de sedimentación que fue de 20 minutos. En la figura 33, se observa la diferencia de cada tiempo de sedimentación dado siendo la columna 4 el de menor turbidez en comparación con las demás.

4.3. Análisis comparativos de los resultados obtenidos

Las siguientes tablas muestran los resultados de los Ensayos de prueba de jarras que se realizaron, con datos fisicoquímicos iniciales y finales (después del tratamiento) de: Turbidez, conductividad, DQO y pH.

Tabla 18: Datos finales de la prueba de jarras N° 1

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (NTU)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i (mg O ₂ /L)	DQO _f (mg O ₂ /L)
1	20	55	9,7	7,25	4,05	779	755	64	45
2	40	55	8,2	7,25	4,15	779	732	64	42
3	60	55	7,9	7,25	4,95	779	692	64	38
4	80	55	6,8	7,25	5,12	779	665	64	35

Fuente: Elaboración propia.

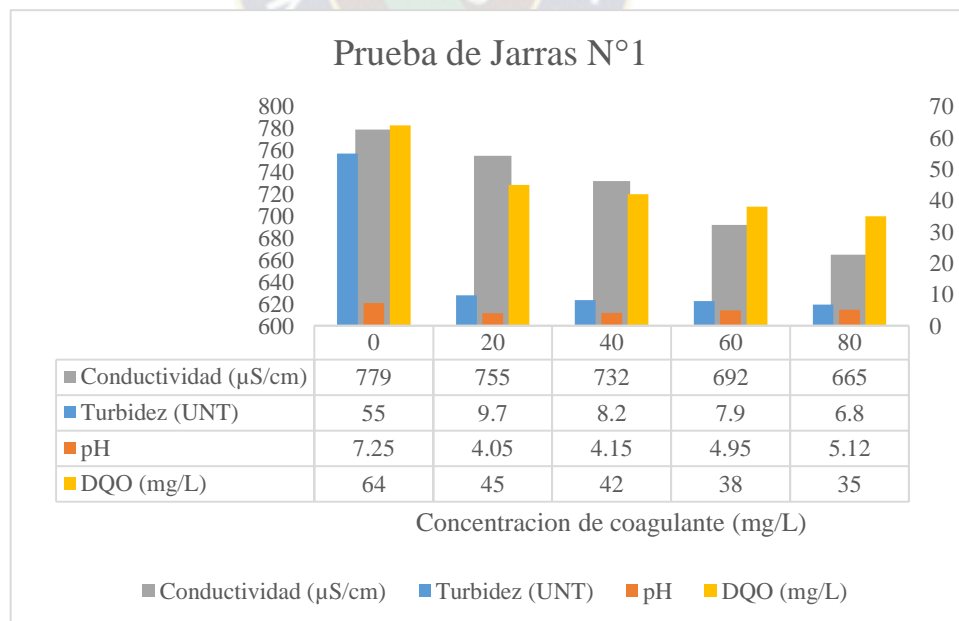


Figura 34: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N° 1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18 Se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°1 antes y después del tratamiento, en la figura 34, se observa un análisis comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como resultado representativo a la columna 5.

Tabla 19: Datos finales de la prueba de jarra N°2

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (NTU)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i (mg O ₂ /L)	DQO _f (mg O ₂ /L)
1	20	55	6,7	7,25	4,83	779	732	64	43
2	40	55	3,9	7,25	5,05	779	722	64	39
3	60	55	2,3	7,25	5,78	779	708	64	34
4	80	55	1,4	7,25	6,09	779	694	64	32

Fuente: Elaboración propia

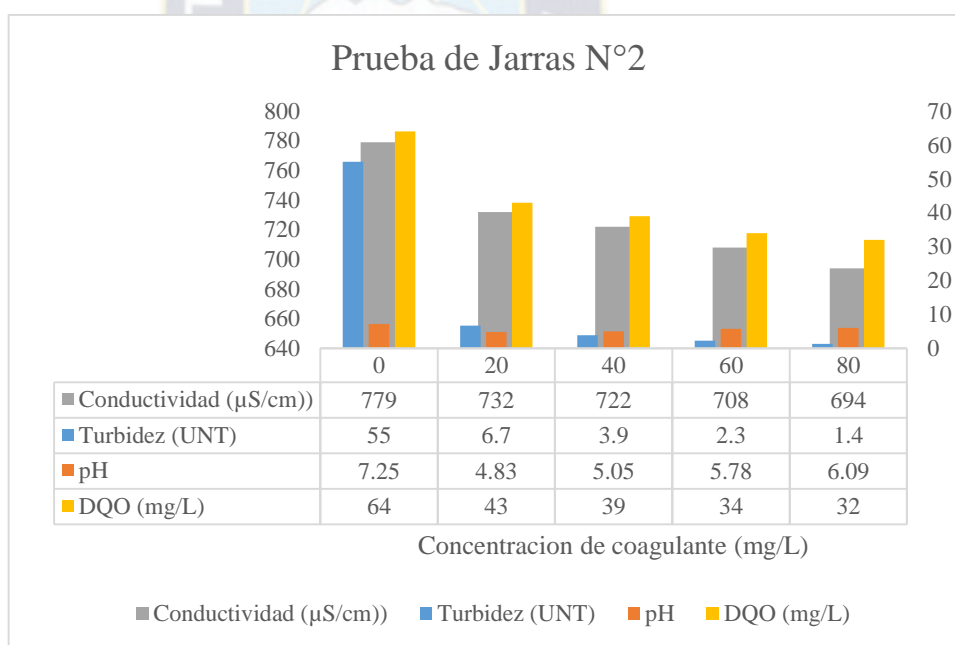


Figura 35: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°2 antes y después del tratamiento, en la figura 35, se observa una gráfica de análisis comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como resultado representativo a la columna 5.

Tabla 20: Datos finales de la prueba de jarra N°3

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (UNT)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i (mg O ₂ /L)	DQO _f (mg O ₂ /L)
1	20	55	7,1	7,25	4,95	779	715	64	40
2	40	55	4,3	7,25	5,15	779	708	64	35
3	60	55	4,1	7,25	5,95	779	680	64	32
4	80	55	2,3	7,25	6,21	779	668	64	29

Fuente: Elaboración propia

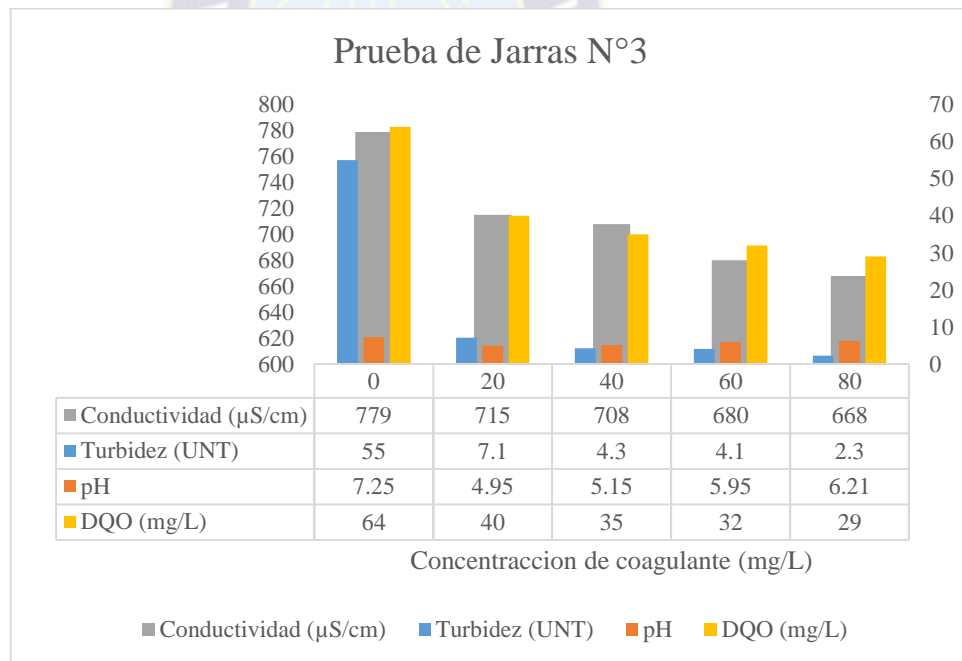


Figura 36: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°3

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°3 antes y después del tratamiento, en la figura 36, se observa una gráfica de análisis

comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como resultado representativo a la columna 5.

Tabla 21: Datos finales de la prueba de jarras N°4

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (NTU)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i mg O ₂ /L	DQO _f mg O ₂ /L
1	20	55	3,7	7,25	5,15	779	738	64	33
2	40	55	3,1	7,25	5,35	779	730	64	31
3	60	55	2,2	7,25	5,78	779	715	64	29
4	80	55	1,8	7,25	6,20	779	682	64	27

Fuente: Elaboración Propia.

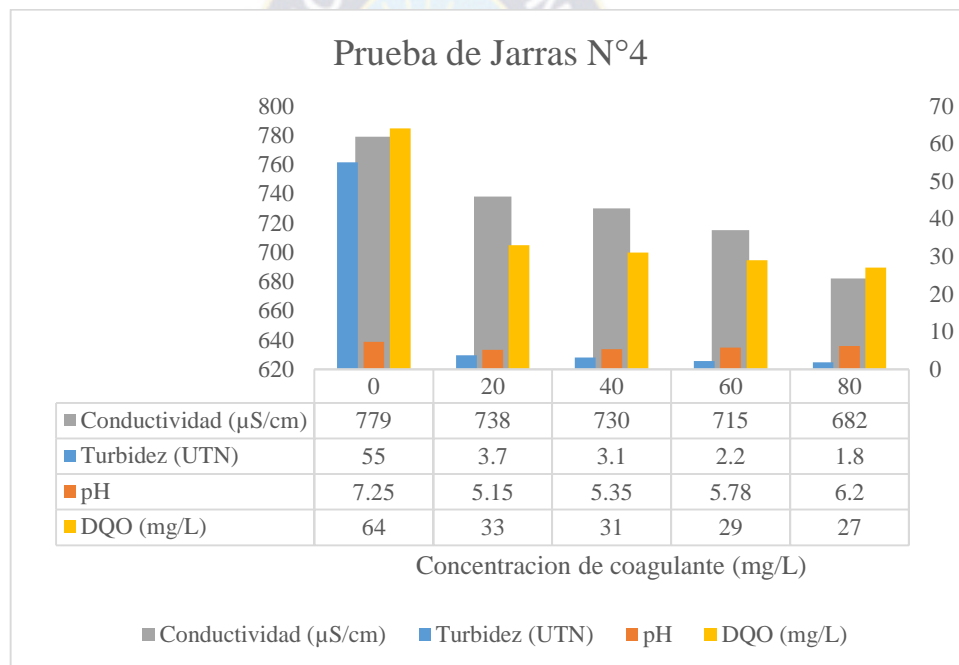


Figura 37: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°4

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°4 antes y después del tratamiento, en la figura 37, se observa un análisis comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como resultado representativo a la columna 5.

Tabla 22: Datos finales de la prueba de jarras N°5

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (NTU)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i mg O ₂ /L	DQO _f mg O ₂ /L
1	20	55	1,24	7,25	4,67	779	562	64	32
2	40	55	0,85	7,25	4,81	779	552	64	28
3	60	55	0,68	7,25	5,56	779	537	64	25
4	80	55	0,61	7,25	6,79	779	530	64	23

Fuente: Elaboración propia

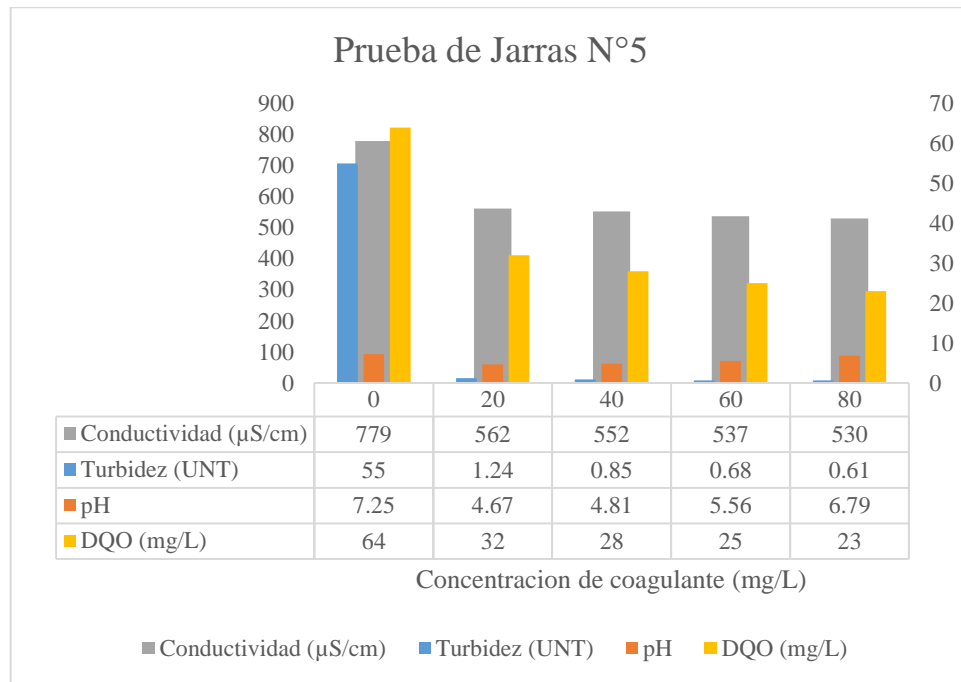


Figura 38: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°5

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22. se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°5 antes y después del tratamiento, en la figura 38, se observa un análisis comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como mejor resultado representativo a la columna 5.

Tabla 23: Datos finales de la prueba de jarra N°6

Jarra N°	Dosis en mg/L	Turb _i (UNT)	Turb _f (NTU)	pH _i	pH _f	Condu _i (μS/cm)	Condu _f (μS/cm)	DQO _i mg O ₂ /L	DQO _f mg O ₂ /L
1	20	55	7,1	7,25	4,40	779	721	64	38
2	40	55	4,9	7,25	4,99	779	710	64	35
3	60	55	3,2	7,25	5,10	779	698	64	30
4	80	55	2,4	7,25	6,09	779	650	64	28

Fuente: Elaboración propia

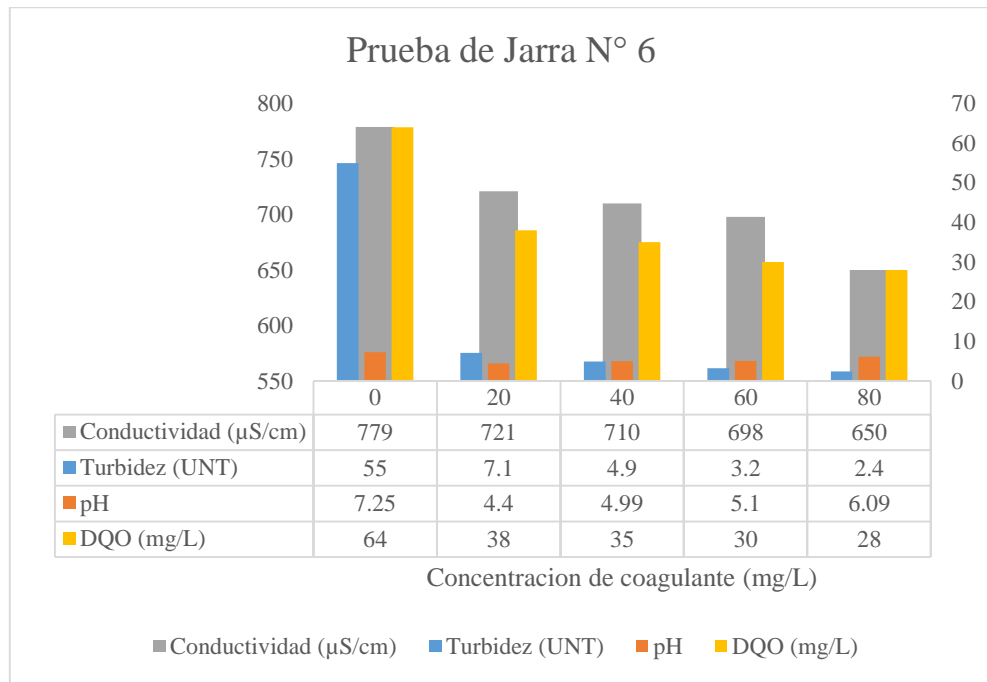


Figura 39: Análisis de los datos obtenidos después del tratamiento Jarra N°6

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de jarras N°6 antes y después del tratamiento, en la figura 39, se observa un análisis comparativo entre la: Turbidez, Conductividad, DQO y pH. Teniendo como mejor resultado representativo la columna 5.

En la figura presente a continuación, se observa una disminución significativa en la turbidez, DQO y la conductividad. Entre todos los ensayos de jarras realizados, existe una que es la más representativa y óptima.

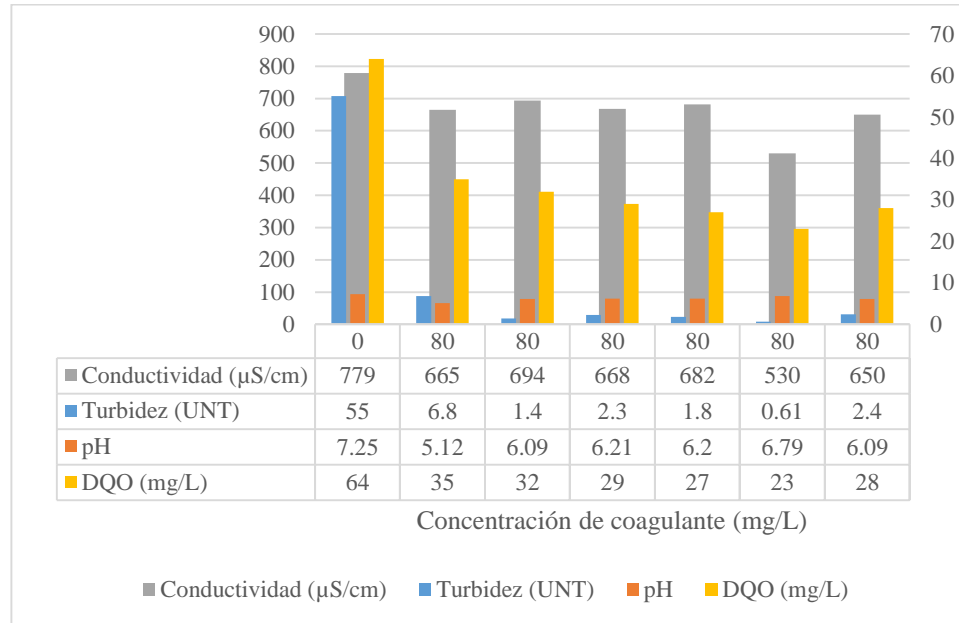


Figura 40:Ensayo de jarras óptimo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40, se observa como resultado final a la prueba de ensayo de jarras N°5 considerándolo como óptimo ya que presenta menores resultados obtenidos.

4.4. Parámetros óptimos finales encontrados para el tratamiento de aguas

Después de haber finalizado las pruebas de las variables importantes que son la dosis optima de coagulante, la velocidad de agitación lenta para la formación de flóculos, el tiempo de dispersión del coagulante para una velocidad de agitación rápida y el tiempo de sedimentación. Podemos tener un proceso óptimo para realizar el tratamiento de las aguas del Río Seke.

En la siguiente tabla podemos observar los datos óptimos obtenidos. Con la prueba de jarras.

Tabla 24: Parámetros óptimos finales para el tratamiento de aguas del Río Seke

Turb_i (UNT)	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Tiempo de sedimentación en (min)	Turb_f (UNT)
55	80	100	5	20	0,61

Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis fisicoquímicos anterior y posterior al tratamiento de agua.

4.5.1. Parámetros fisicoquímicos analizados para la Jarras N° 5

Una vez encontrado los parámetros óptimos para un buen tratamiento de aguas residuales, a esta agua tratada se le realizan algunos análisis fisicoquímicos de importancia para saber a qué tipo de calidad de agua a la cual pertenecen según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica Ley 1333.

Se toma como muestra de agua para dichos análisis a las aguas tratadas de la prueba de jarras N°5 ya que esta presenta la menor turbidez que las demás.

4.5.2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados

Tabla 25: Determinación de temperatura de la muestra de agua tratada

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
	°C	Prom.	SD	°C	Prom	SD	
Temperatura	18,2	18,2	0,08	18,3	18,4	0,05	± 3 °C de c. receptor ACEPTABLE
	18,3						
	18,1						
	18,4						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Determinación de turbidez de la muestra de agua tratada

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
	UNT	Prom.	SD	UNT	Prom	SD	
Turbidez	55	54,6	0,4	0,61	0,61	0,004	< 50 ACEPTABLE
	54			0,62			
	55			0,61			

Fuente: Elaboración propia**Tabla 27:** Determinación del pH de la muestra tratada

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
		Prom.	SD		Prom	SD	
pH	7,25	7,25	0,004	6,79	6,78	0,004	ACEPTABLE
	7,25			6,79			
	7,24			6,78			

Fuente: Elaboración propia**Tabla 28:** Determinación de la conductividad de la muestra de agua tratada

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
	μS/cm	Prom.	SD	μS/cm	Prom	SD	
Conductividad	779	778,6	0,47	530	530,3	0,48	ACEPTABLE
	778			531			
	779			530			

Fuente: Elaboración propia**Tabla 29:** Determinación de la DQO de la muestra de agua tratada

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
	mg O ₂ /L	Prom.	SD	mg O ₂ /L	Prom	SD	
DQO	64	63,6	0,47	22,1	22,4	0,24	< 10 o < 40 ACEPTABLE
	63			22,3			
	64			22,7			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Determinación de sólidos totales disueltos de la muestra de agua tratada.

Parámetro	Anterior			Posterior			Valor máximo aceptable según Ley 1333
	mg/L	Prom.	SD	mg/L	Prom	SD	
Sólidos totales	474	477	2,49	386	387	2,49	ACEPTABLE
	476			384			
	480			390			

Fuente: Elaboración propia

Los análisis fisicoquímicos realizados a la muestra de agua tratada entran en el rango de los límites permisibles según la Ley 1333.

De estos resultados obtenidos podemos concluir que las aguas tratadas pertenecen a la calidad de aguas del tipo B (Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica) y C (Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica).

CAPÍTULO V



5.1. Conclusiones

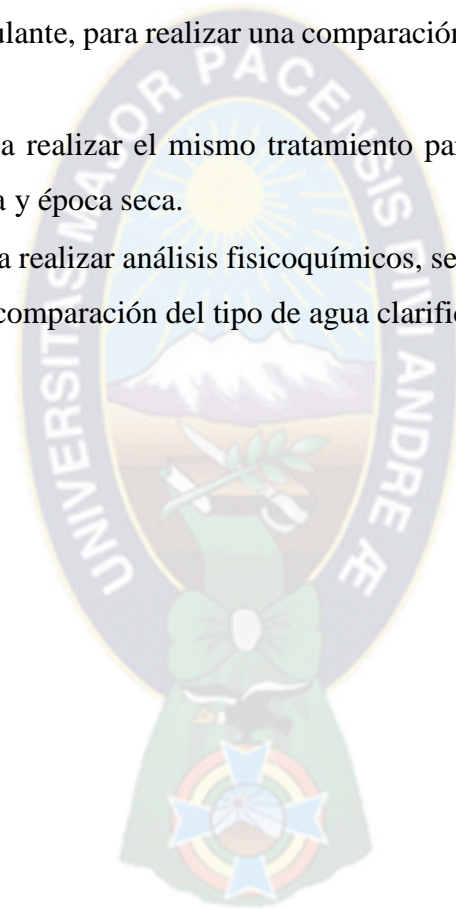
- Mediante las pruebas de jarras se determinaron los parámetros óptimos del tratamiento, para la aplicación del coagulante de sulfato de aluminio, la cual fue uno de los objetivos en este trabajo, que se muestran en la siguiente tabla:

Turb_i (UNT)	Dosis mg/L	Velocidad de agitación rápida rpm	Tiempo min.	Tiempo de sedimentación en (min)	Turb_f (UNT)
55	80	100	5	20	0,61

- Con la aplicación del Sulfato de Aluminio como coagulante utilizado en muestras de agua del Río Seke, bajo diferentes condiciones en cada jarra, se logró determinar que la jarra N°5 tiene mayor remoción de turbiedad de 0,61 UNT. En cuanto al pH, este parámetro presenta una disminución no representativa ya que se encuentran dentro del rango de los límites permisibles según al Reglamento a la Ley del Medio Ambiente Ley 1333.
- Se ha determinado análisis fisicoquímicos en el proyecto empleando métodos reconocidos internacionalmente (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. SMW y Environmental Protection Agency. EPA), para la determinación del grado de contaminación del Rio Seke antes y después del tratamiento.
- Habiéndose realizado el análisis fisicoquímico de la muestra de agua con menor turbidez, se realizó una evaluación comparativa de los datos iniciales y finales obtenidos, donde se pudo evidenciar que no existen cambios muy significativos en la temperatura y el pH, pero si se existe cambios significativos en la conductividad, solidos totales disueltos y la DQO.
- Según el Reglamento de Contaminación Hídrica de la Ley N° 1333, los resultados finales obtenidos de nuestra agua tratada, pertenecen a la clasificación de calidad de aguas del tipo B y C ya que dichos resultados satisfacen los límites permisibles establecidos en el reglamento.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda tomar muestras de más de 20 litros de agua residual, para tener la cantidad suficiente que se necesita en cada prueba de jarras ya que debe contener un volumen de 1 litro en cada vaso.
- Se recomienda preparar la solución de sulfato de aluminio por día, para evitar la pérdida de efectividad del mismo.
- Se recomienda realizar el tratamiento de aguas del Río Seke utilizando diferentes tipos de coagulante, para realizar una comparación con los datos obtenidos en este trabajo.
- Se recomienda realizar el mismo tratamiento para diferentes épocas de tiempo, época lluviosa y época seca.
- Se recomienda realizar análisis fisicoquímicos, según otras Normas Bolivianas de agua, para la comparación del tipo de agua clarificada que se ha obtenido.



5.3. Bibliografía

A.A.P.S. (2019). *GUÍA PARA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTAR EN BOLIVIA*. La Paz.

agua.org.mx. (2017). *Propiedades del agua*. Obtenido de Fondo para la comunicacion y la educacion ambiental: <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>

ALEX, E. M. (2016). *PROPUESTA DE COAGULACIÓN QUÍMICA EN EL AFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL - PUCHUKOLLO Y SU RELACIÓN CON LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES*. Univeridad Mayor de San Andres, La Paz.

Apaza, M. M. (2019). *MONITOREO AL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA LOCALIDAD DE CORIPATA*. Universidad Mayor de San Andres Facultad de tecnologia Quimica Industrial, La Paz.

Barajas Garzon, L., & Leon Luque, A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACION - FLOCULACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. Universidad Santo Tomas Division de Ingenieria ambiental, Bogota.

Bokova, I. (2017). *AGUAS RESIDUALES El recurso desaprovechado*. . En I. M. 2017. Paris, Francia.: a Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

BOLIVIA, R. F. (Noviembre de 2018). *EL ALTO, los colores de la contaminacion*. Obtenido de <https://fmbolivia.com.bo/15/11/2018/el-alto-los-colores-de-la-contaminacion/>

Buxton, N., & Escobar, M. (2013). *El Cambio Climático y la Crisis del Agua en La Paz y El Alto*. Stockholm Environment Institute sei-international.org, U.S.A.

- CAF. (5 de Marzo de 2020). *Planta de tratamiento de aguas residuales Tacachira beneficiará a 18.000 habitantes de El Alto*. Obtenido de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2020/03/caf-financia-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-tacachira-que-beneficiara-a-18000-habitantes-de-el-alto/>
- Castrillon Bedoya, D., & Giraldo, M. (2012). *DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA*. Universidad Tecnologica de Pereira, Facultad de Tecnologia.
- Chapman, S. (1996). Soil and Solid Poultry Waste Nutrient Management and Water Quality. *ELSEVIER Poultry science* , 862-866.
- Cirelli, A. F. (2012). El Agua un recurso esencial. *Revista QUIMICA VIVA Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas*.
- Cortines, A. R. (2014). *Estadísticas del agua en Mexico, comision Nacional del Agua. MEXICO*.
- EPSAS. (23 de Agosto de 2021). *La obra Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puchukollo – El Alto, en plena ejecución*. Obtenido de Empresa publica social de agua y saneamiento: <https://www.epsas.com.bo/web/la-obra-mejoramiento-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-puchukollo-el-alto-en-plena-ejecucion-2/>
- Fernández, L., & Veliz, E. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y ciencia del agua*.
- Garcia, M., Dario Sanchez, F., & Marin, R. (2019). El Agua. En *El Medio Ambiente en Colombia* (pág. 117).

- Guadarrama Tejas , R., Kido Miranda , J., Roldan Antunez, G., & Salas Salgado , M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 1-10.
- Habitat, R. (2011). *GESTION INTEGRAL DEL AGUA Proyecto agua y cambio climatico*. 01 KZE MISEREOR .
- Leon, D. A. (2015). *APLICACIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL OBTENIDO A PARTIR DE LA PENCA DE TUNA (OPUNTIA FICUS INDICA) PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD EN AGUAS DE CONSUMO EN LA LOCALIDAD DE ACHOCALLA*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES CARRERA DE QUIMICA INDUSTRIAL, La Paz Bolivia.
- Lliully, L. H. (2011). *Remoción de Arsénico Disuelto en Aguas de Consumo Mediante arcillas naturales en el Altiplano Boliviano*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES Carrera de CIENCIAS QUIMICAS, La Paz BOLIVIA.
- Lopez, V. E. (2018). Diseño del sistema eléctrico y de bombeo de la Planta de tratamiento de las aguas servidas Tacachira. (*Proyecto de grado*). UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES, La Paz - BOLIVIA 2018.
- MMAyA. (2016). Política nacional de la Calidad del agua para consumo humano. En D. A. Lopez, *Cartilla de capacitación para las áreas Técnica y Social*. La Paz.
- Quito, J. C. (2011). *ALTO, COMPARACION DEL USO Y APROVECHAMIENTO DE LAS CARPAS SOLARES EN LAS COMUNIDADES DE TACACHIRA Y OCOMISTO DEL DISTRITO 11 DE LA CIUDAD DE EL ALTO*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES Facultad de Agronomía, LA PAZ.
- Ramos Pacha , L., & Paredes Urquieta de Chavez , P. (2015). *CAPTACIÓN, EVALUACIÓN, TRATAMIENTO Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE CONSUMO DE AGUA POTABLE EN LA LOCALIDAD PAMPAS DE PAJONAL DISTRITO*

DE MOLLEBAYA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN AREQUIPA, Arequipa-PERU.

residuales, A. (2012). *Tratamiento y reuso de aguas residuales*. Lima Peru.

Revilla, C. (4 de Mayo de 2021). *Desigualdades socioecologicas y urbanizacion en la cuenca del rio Katari Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA)*. (M. Tudela, Entrevistador)

Rodriguez, L., & Salvador, Z. (2016). *DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE EN FUNCION DE LA TURBIDEZ EN LA UNIDAD MULTIFLO DURANTE TEMPORADA DE AVENIDAS EN PLANTA HUACHIPA - SEDAPAL*. Universidad Nacional de Trujillo ESCUELA ACADEMICO PROFECIONAL DE INGENIERIA QUIMICA, Trujillo- PERU.

Suarez, J., & Jacome, A. (2018). *Tratamiento de Aguas*. Grado en Ingenieria de Obras Publicas.

Vasquez, J. P. (2015). *ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA BAHÍA DE COHANA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LA LECHE DEL GANADO BOVINO*. Universidad Mayor de San Andres, FACULTAD DE TECNOLOGÍA Carrera Quimica Industrial, La Paz.

Yolanda, C. (2000). *Tratamient de agua; Cuagulacin Floculacion*. Evaluacion de Plantas y Desarrollo PLANTA DE TRATAMIENTO SEDAPAL, Lima-PERU.

The background features a large, faded watermark of the University of Divina Pastora logo. The logo is an oval shape with a sunburst in the center, surrounded by the Latin text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVINAE PASTORAE". Below the oval is a shield with a cross and other heraldic symbols.

ANEXOS

ANEXO N°1

CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA SEGÚN LA LEY 1333 (REGLAMENTO A LA LEY DEL MEDIO AMBIENTE)

La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases señaladas en tabla

Anexo 1: Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso Ley 1333

Orden	Usos	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
1	Para abastecimiento domestica de agua potable después de: a) Sólo una desinfección y ningún tratamiento b) Tratamiento solamente físico y desinfección c) Tratamiento físico-químico completo; coagulación, floculación, filtración y desinfección d) Almacenamiento prolongado o pre-sedimentación; seguidos de tratamiento, al igual que c.	Si No No No	No SI No No	No No SI No No	No No No SI
2	Para recreación de contacto primario; natación, esquí, inmersión	Si	Si	Si	No
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos.	Si	Si	Si	No
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y fruta de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella.	Si	Si	No	No
5	Para abastecimiento industrial	Si	Si	Si	Si
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana	Si	Si	Si	No
7	Para abrevadero de animales	No(*)	Si	Si	No
8	Para la navegación (***)	No(**)	Si	Si	Si

(SI) Es aplicable, puede tener todos los usos indicados en las clases correspondientes

(*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable.

(**) No a navegación a motor

(***) No aplicable a acuíferos

Fuente: Reglamento a la ley del medio ambiente 1333

Anexo 2: Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua

N°	Parametros	Unidad	Cancerigeno	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
1	pH		NO	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
2	Temperatura	°C		± 3 °C de c. receptor	± 3 °C de c. receptor	± 3 °C de c. receptor	± 3 °C de c. receptor
3	Sólidos disueltos totales	mg/l		1000	1000	1500	1500
4	Aceites y Grasas	mg/l	NO	Ausentes	Ausente	0.3	1
5	DBO5	mg/l	NO	< 2	< 5	< 20	< 30
6	DQO	mg/l	NO	< 5	< 10	< 40	< 60
7	NMP Colifecales NMP	N/100ml	NO	<50 y <5 en 80% de muestras	<1000 y <200 en 80% de muestras	<5000 y <1000 en 80% de muestras	<50000 y <5000 en 80% de muestras
8	Oxígeno Disuelto	mg/l	NO	> 80% sat.	>70% sat.	>60% sat.	>50% sat.
9	Turbidez	UNT	NO	<10	<50	<100 - <2000***	<200 - <10000***
10	Amoniaco	mg/l	NO	0.05 c. NH	1.0 c. NH	2 c. NH	4 c. NH
11	Arsénico total	mg/l	Si	0.05 As	0.05 As	0.05 As	0.1 As
12	Calcio	mg/l	NO	200	300	300	400
13	Cadmio	mg/l	NO	0.005	0.005	0.005	0.005
14	Cianuros	mg/l	NO	0.002	0.1	0.2	0.2
15	Cloruros	mg/l	NO	250 c. Cl	300 c. Cl	300 c. Cl	400 c. Cl
16	Cobre	mg/l	NO	0.05 c. Cu	1.0c. Cu	1.0c. Cu	1.0c. Cu
17	Magnesio	mg/l	NO	100 c. Mg	100 c. Mg	150 c. Mg	150 c. Mg
18	Manganeso	mg/l	NO	0.5 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0 c. Mn
19	Mercurio	mg/l	NO	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg
20	Níquel	mg/l	Si	0.05 c. Ni	0.05 c. Ni	0.5 c. Ni	0.5 c. Ni
21	Nitrato	mg/l	NO	20.0 c. NO3	50.0 c. NO3	50.0 c. NO3	50.0 c. NO3
22	Nitrito	mg/l	NO	<1.0 c. N	<1.0 c. N	<1.0 c. N	<1.0 c. N
23	Nitrógeno Total	mg/l	NO	5 c. N	12 c. N	12 c. N	12 c. N
24	Plomo	mg/l	NO	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.01 c. Pb
25	Sulfatos	mg/l	NO	300 c. SO4	400 c. SO4	400 c. SO4	400 c. SO4
26	Zinc	mg/l	NO	0.2 c. Zn	0.2 c. Zn	5.0 c. Zn	5.0 c. Zn

Fuente: Reglamento a la ley del medio ambiente 1333

Anexo 3: Procedimiento de muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos según Norma Boliviana 496

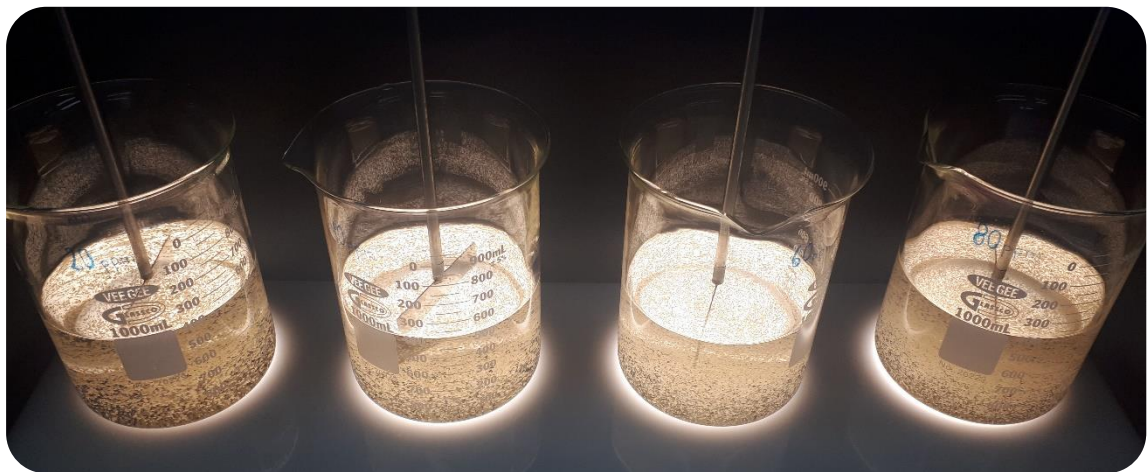
N°	Actividad	Descripción
1	Preparación de los frascos	Preparar los frascos de polietileno con una capacidad de 2 litros. La recolección de muestras para analizar pH se debe tomar en un frasco de 300 ml.
2	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente)
3	Verificación de la condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado, sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
5	Enjuague del frasco	Enjuagar el frasco dos a tres veces con la misma muestra.
6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco hasta que rebalse, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco.
7	Cierre del frasco	Tapar el frasco con sumo cuidado para que no queden burbujas en su interior.
8	Registro de datos	Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
9	Transporte de la muestra	Transportar el/los frascos en conservadores con hielo.

Fuente: Agua potable toma de muestras, Norma Boliviana 496

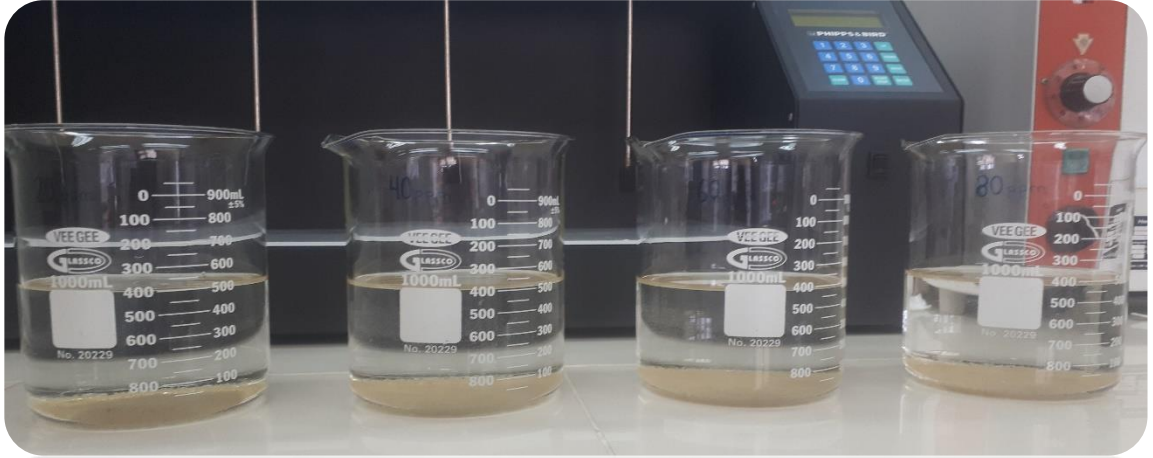
Anexo 4: Fotografías del procedimiento de la prueba de jarras utilizando como coagulante el Sulfato de aluminio (Alumbre)



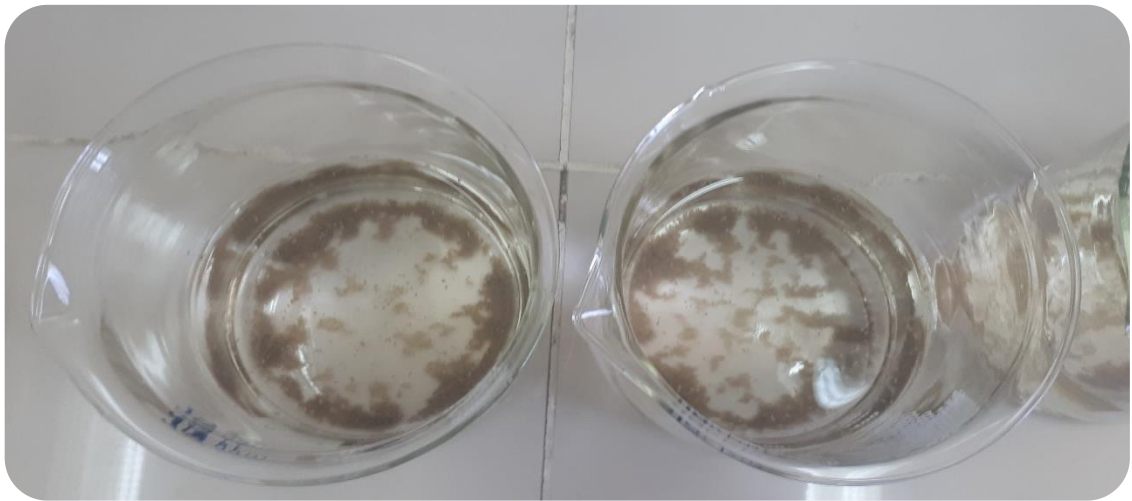
Fotografía 1: Muestra inicial de agua del Rio Seke a un volumen de 500 mL para cada vaso



Fotografía 2: Velocidad de agitacion rapida, para la dispersion del coagulante.



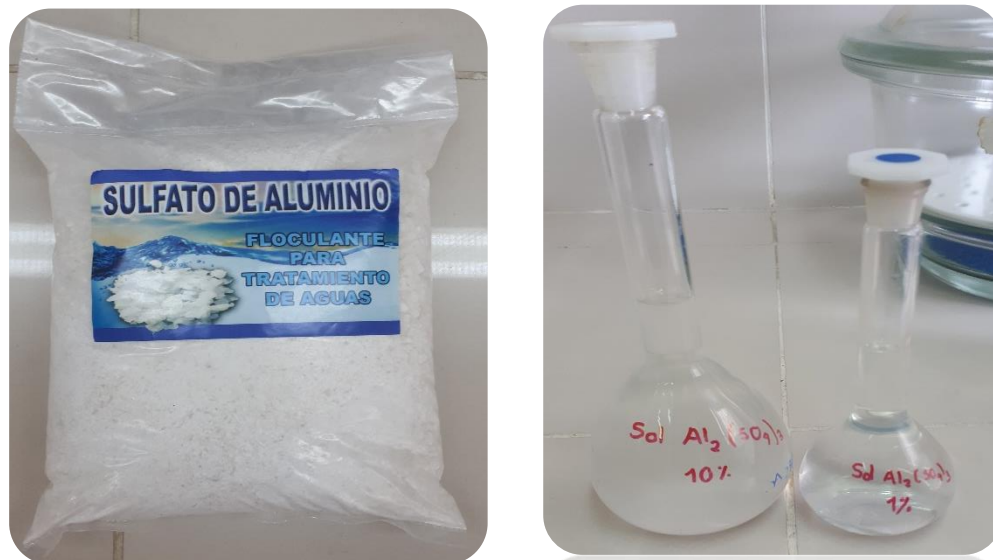
Fotografía 3: Prueba de jarras finalizada.



Fotografía 4: Sedimentación de los flóculos formados.



Fotografía 5: Muestras de agua del Rio Seke antes y después del tratamiento.



Fotografía 6: Preparación de la solución de Sulfato de Aluminio.